

# **Elektromobilität in der Landwirtschaft**

Henrik Rautmann

(Matrikelnummer: 40688589)

Eingereichte Abschlussarbeit

zur Erlangung des Grades

**Bachelor of Science**

im Studiengang

**Wirtschaftsingenieurwesen Verkehrsmanagement**

an der

Karl-Scharfenberg-Fakultät

der Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften

Erster Prüfer:

Prof. Dr.-Ing. Christoph J. Menzel

Eingereicht am: 18.10.2013

Zweiter Prüfer:

Dipl. Ing. agr. Heiko Jacke

---

## Exposé

Die nachfolgende Bachelorarbeit zu dem Thema „Elektromobilität in der Landwirtschaft“ wurde von Henrik Rautmann in Zusammenarbeit mit dem Institut für Verkehrsmanagement (IFVM) der Ostfalia – Hochschule für angewandte Wissenschaften erstellt. Das IFVM befasst sich insbesondere mit der Verkehrs- und Mobilitätsforschung des aktuellen Verkehrsmanagements. Das Institut zählt sowohl den Straßen-, Schienen-, als auch den Luftverkehr zu seinen Schwerpunkten.

Bei der Betrachtung von Mobilität und Verkehr fällt dem Bereich „Landwirtschaft“ oft nur eine Nebenrolle zu. Die Landwirtschaft hat jedoch wie fast alle Bereiche aus Wirtschaft und Industrie in den letzten Jahren einen Wandel durchlebt. Dies gilt insbesondere bei den Transporten landwirtschaftlicher Güter, aber auch bei den Technologien mit denen produziert wird. Auch in der Landwirtschaft gilt das Prinzip: „Höher, schneller, weiter“. Fast schon einen Gegenpart hierzu bildet die Elektromobilität. Zwar ist man auch auf diesem Gebiet in Forschung und Politik tätig, allerdings sind die gesteckten Ziele hauptsächlich auf PKW ausgelegt, wohingegen sich bei anderen Fahrzeugen vorerst mit dem Wechsel zu Bio-Kraftstoffen oder dem Einsatz von Hybriden begnügt wird.

Grundgedanke der Arbeit ist es daher, die Potentiale der Elektromobilität in dem Sektor Landwirtschaft zu prüfen. Hauptziel ist es dabei, die hierzulande typischen Antriebformen kritischer zu betrachten, zu hinterfragen, und mögliche Alternativen aufzuzeigen. Die Arbeit soll alle die mit der Landwirtschaft in Berührung kommen zum Nachdenken anregen. Hiermit sind sowohl der Landwirt im Nebenerwerb, die landwirtschaftlichen Großbetriebe, als aber auch der Lohnunternehmer und andere gemeint. Es wird ein Überblick darüber verschafft, an welchen Stellen und unter welchen Rahmenbedingungen ein Umstieg auf einen Elektroantrieb sinnvoll ist, wo und wann aber auch weiter auf konventionelle Antriebe vertraut werden sollte.

Das Aufzeigen der Vor- und Nachteile die die Elektromobilität mit sich führt, wird durch verschiedene Informationsquellen erreicht. Es werden Messungen betrachtet, die die typischen Energieverbräuche bei landwirtschaftlichen Tätigkeiten darstellen. An Hand dieser Daten werden die Unterschiede von konventionellen und Elektroantrieben aufgezeigt. Durch die Vergleiche wird beschrieben an welchen Stellen und unter welchen

---

Voraussetzungen ein Wechsel der Antriebsform sinnvoll ist. Des Weiteren werden Interviews angeführt, in denen Experten aus den betreffenden Branchen ihre Meinung schildern und einen Ausblick auf Potential und Umsetzbarkeit ermöglichen.

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Exposé .....</b>	<b>II</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>VI</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>VII</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>VIII</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>9</b>
1.1 Ausgangssituation .....	9
1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit .....	9
<b>2 Grundwissen zur Landwirtschaft und zur Elektromobilität .....</b>	<b>11</b>
2.1 Entwicklung der Landmaschinen.....	11
2.2 Ziele des Maschineneinsatzes .....	12
2.3 Antriebstechnik .....	13
2.3.1 Geschichte der Antriebstechnik .....	13
2.3.2 Antriebstechnik heute .....	14
2.4 Heutige Kraftfahrzeuge in der Landwirtschaft.....	15
2.5 Landwirtschaftliche Güter .....	16
2.5.1 Getreide.....	17
2.5.2 Zuckerrüben .....	18
2.5.3 Weinbau .....	18
2.5.4 Sonderkulturen.....	19
2.5.5 Sauenhaltung/Schweinemast.....	19
2.5.6 Milch.....	20
2.6 Geschichte der Elektromobilität .....	20
2.7 Elektrofahrzeuge heute.....	23
2.8 Ladetechnik .....	24
<b>3 Vorteile der Elektromobilität .....</b>	<b>27</b>
3.1 Vorteile im Fahrzeug .....	27
3.2 Vorteile für die Umwelt.....	29
<b>4 Messungen .....</b>	<b>30</b>
4.1 Radladereinsatz .....	31
4.2 Traktoreinsatz als Transporter .....	34
4.3 Traktor für die Bodenbearbeitung .....	36

---

4.4	Anforderungs-/ Leistungsprofil der Fahrzeuge im Gebirge .....	39
<b>5</b>	<b>Auswertung der benötigten Energiemengen .....</b>	<b>42</b>
5.1	Darstellung der einzelnen Energiedichten .....	42
5.1.1	Energiedichte „Diesel“ .....	42
5.1.2	Energiedichte „Akkumulatoren“ .....	43
5.1.3	Brennstoffzelle .....	44
5.2	Rechnungen.....	45
5.2.1	Wirkungsgradketten.....	45
5.2.2	Umrechnung auf elektrisches System .....	46
5.2.3	Ausmaße Batterien.....	47
5.3	Eingrenzung der Möglichkeiten .....	49
<b>6</b>	<b>Kostenanalyse.....</b>	<b>51</b>
<b>7</b>	<b>Empfehlung/ ideale Rahmenbedingungen.....</b>	<b>55</b>
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>58</b>
<b>9</b>	<b>Fazit/ Ausblick.....</b>	<b>60</b>
	Literaturverzeichnis .....	63
	Eidesstattliche Erklärung.....	64

---

## Abkürzungsverzeichnis

<b>AC</b>	Wechselstrom
<b>BEV</b>	Battery Electric Vehicle/ Batteriefahrzeug
<b>CO<sup>2</sup></b>	Kohlenstoffdioxid
<b>CVT</b>	Continuously Variable Transmission/ stufenloses Getriebe
<b>DC</b>	Gleichstrom
<b>FCV</b>	Fuel Cell Vehicle/ Brennstoffzellenfahrzeug
<b>GPS</b>	Global Positioning System/ globales Navigationssystem
<b>HEV</b>	Hybrid Electrical Vehicle Device/ Hybridelektrokraftfahrzeug
<b>IFVM</b>	Institut für Verkehrsmanagement
<b>km/h</b>	Kilometer pro Stunde
<b>kW</b>	Kilowattstunde
<b>kWh</b>	Kilowattstunde
<b>PHEV</b>	Plug-in hybrid Electric Vehicle/ Plug-in-Hybrid
<b>PKW</b>	Personenkraftwagen
<b>PS</b>	Pferdestärken
<b>RREV</b>	Research, Recommendations and Electronic Voting/ serieller Hybrid

---

## Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 2– 1: MECH. MÄHMASCHINE, GEZOGEN/GESCHOBEN VON ZWEI PFERDEN UM 1840.....	12
ABBILDUNG 2– 2: ENERGIEDICHTEVERGLEICH VERSCHIEDENER ENERGieträGER .....	24
ABBILDUNG 4– 1: LUFTBILD DER BIOGASANLAGE INKL. GPS-MESSUNG.....	32
ABBILDUNG 4– 2: GPS-AUSWERTUNG DES GESCHWINDIGKEITSVERLAUFS .....	33
ABBILDUNG 4– 3: GPS-AUSWERTUNG DES GESCHWINDIGKEITSVERLAUFS BEIM ZUBRINGER .....	34
ABBILDUNG 4– 4: GPS-AUSWERTUNG ÜBER ZWEI STUNDEN.....	35
ABBILDUNG 4– 5: GPS-AUSWERTUNG DES GESCHWINDIGKEITSVERLAUS BEIM PFLÜGEN .....	37
ABBILDUNG 4– 6: DARSTELLUNG DES STECKENVERLAUFS DER GPS-MESSUNG BEIM PFLÜGEN.....	38
ABBILDUNG 5– 1: MÖGL. EINSATZDAUER EINES 20 kW-FAHRZEUGS UNTER BATTERIEEINSATZ .....	49
ABBILDUNG 5– 2: ENTWICKLUNG DER EINSATZZEITEN NACH ENERGIEBEDARF .....	50

---

## Tabellenverzeichnis

TABELLE 2- 1: GESCHICHTE DER ELEKTROMOBILITÄT.....	22
TABELLE 3- 1: GEGENÜBERSTELLUNG VON ELEKTRO- UND DIESELMOTOR .....	28
TABELLE 4- 1: ÜBERSICHT DER GEMESSENEN KRAFTSTOFFVERBRÄUCHE.....	39
TABELLE 5- 1: SYSTEM MIT DIESELMOTOR .....	47
TABELLE 5- 2: BATTERIEELEKTRISCHES SYSTEM.....	47
TABELLE 5- 3: AUSMAßE DER AKKUMULATOREN .....	48
TABELLE 6- 1: AKTUELLER STAND DER TECHNIK/PREISE.....	53
TABELLE 6- 2: MÖGLICHE PREISENTWICKLUNGEN ZU GUNSTEN DER ELEKTROMOBILITÄT .....	53
TABELLE 6- 3: MÖGLICHE PREISENTWICKLUNGEN ZU UNGUNSTEN DER ELEKTROMOBILITÄT.....	53



# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation

Derzeit vergeht kaum ein Tag, an dem nicht über das Thema der Energiewende berichtet wird. Bei der Betrachtung der Energiewende wird in demselben Kontext auch über alternative Antriebe der in Deutschland genutzten Fahrzeuge gesprochen. Die Elektromobilität ist daher sowohl in der Politik, als auch insbesondere bei den Herstellern von Kraftfahrzeugen ein äußerst aktuelles Thema, welches mit großem Engagement bearbeitet wird. In Deutschland wurde zudem der „Nationale Entwicklungsplan Elektromobilität“ erstellt. [Sch 11] S. 11 In einem Auszug aus dem Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität heißt es: „Die langfristige Sicherung der Mobilität erfordert hoch effiziente Fahrzeuge, die mit alternativen Energien betrieben werden können. Elektrische Antriebe (Hybrid-, Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeuge) bieten große Potenziale zur Verringerung der Abhängigkeit von Erdöl als Energieträger sowie zur Reduzierung von CO<sup>2</sup> und lokalen Schadstoffemissionen. PlugIn- und Batterie-Elektrofahrzeuge – die Gegenstand des Entwicklungsplans sind – sind dabei unter dem Gesichtspunkt der Energieeffizienz die erste Wahl.“ [bmw 09] S. 3

## 1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist es, die Umsetzungsmöglichkeiten der Elektromobilität in der Landwirtschaft zu prüfen. Bei der Betrachtung der Antriebe (Hybrid, Batterie, Brennstoffzelle) wird sich hauptsächlich auf den rein batterieelektrischen Antrieb konzentriert.

Zu Beginn der Arbeit werden in Kapitel zwei einige historische und technische Grundlagen zu den beiden definierten Themen – „Landwirtschaft“ und „Elektromobilität“ – gegeben. In Kapitel drei werden grundlegende Vorteile aufgezeigt, die die Elektromobilität mit sich bringt. Im vierten Abschnitt der Arbeit werden eigene Messungen angefügt, die aufzeigen sollen, welche Energiemengen bei landwirtschaftlichen Arbeiten benötigt werden. Aufbauend auf die in Kapitel vier erzielten Ergebnisse wird im fünften Kapitel eine Einschätzung gegeben, welche technischen Grundvoraussetzungen für die Bereitstellung der Energiemengen gegeben sein müssen, um diese Mengen durch den Einsatz von

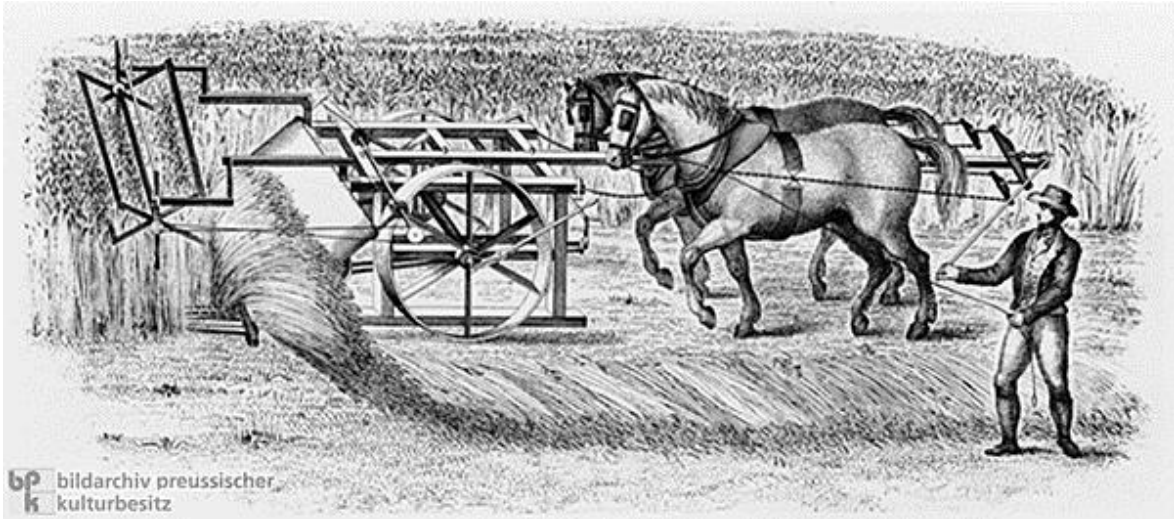
Elektromobilität aufzubringen. Das sechste Kapitel verschafft einen Überblick über die zu erwartenden Kosten, die bei einem Einsatz von Elektrofahrzeugen anfallen würden. In Kapitel sieben wird das Erarbeitete dafür genutzt, eine These aufzustellen, die ideale Rahmenbedingungen für den Einsatz der Elektromobilität benennt und einen Überblick über die technische und wirtschaftliche Umsetzbarkeit der Technik gibt. Zu den eigenen Ergebnissen wird zudem eine Expertenmeinung mit in die These aufgenommen, die jedoch auch in anderen Kapiteln teilweise aufgegriffen wird. Zum Ende der Arbeit wird in Kapitel acht eine Zusammenfassung der Arbeit angeführt. In Kapitel neun wird die Arbeit mit einem abschließenden Fazit und einem Ausblick in die Zukunft abgeschlossen.

## **2 Grundwissen zur Landwirtschaft und zur Elektromobilität**

### **2.1 Entwicklung der Landmaschinen**

Bodenbearbeitungsgeräte gibt es seitdem die Menschheit Ackerbau betreibt und sich dabei die Muskelenergie von Tieren zu Nutze macht. [Hey 63] S. 17

Bereits im Jahre 1838 veranstaltete die „Englische Landwirtschaftsgesellschaft“ in Oxford ihre erste, aber von da an alljährliche Ausstellung für Landmaschinen. Auf dieser Ausstellung wurde einer großen Zahl von Landwirten verschiedene Landmaschinen vorgeführt, was vorher lediglich in der Nähe des Produktionsortes der Maschine möglich war. Die erste Weltausstellung für Landmaschinen fand im Jahr 1851, ebenfalls in England, statt. Auf der Ausstellung in London haben neben englischen auch amerikanische Hersteller ihre Maschinen präsentiert. Die deutschen Landwirte waren zu diesem Zeitpunkt vom technischen Stand etwas hinterher, sodass sie sich auf der Ausstellung einen ersten Überblick über den Entwicklungsstand der Landmaschinen machen konnten. Durch die zu diesem Zeitpunkt immer stärker werdende Industrialisierung in Deutschland nahmen die Anforderungen an die Landwirtschaft zu. Der Anstieg der Bevölkerung – insbesondere in den Städten – hatte einen wachsenden Bedarf an Lebensmitteln zur Folge. Da jedoch die Arbeitskräfte vom Land zunehmend in die städtischen Fabriken abwanderten, herrschte plötzlich ein erheblicher Mangel an Arbeitskräften. Dieser Mangel konnte nur durch den vermehrten Einsatz von technischen Hilfsmitteln kompensiert werden. So entstand allmählich eine deutsche Landmaschinenindustrie, die um das Jahr 1900 rd. 23000 Beschäftigte in etwa 1200 Betrieben zählte. Eine rasante Entwicklung der Landmaschinenindustrie konnte jedoch erst nach den zwanziger Jahren erfolgen, als der Verbrennungsmotor im Schlepper Einzug gehalten hatte. Dieser war wesentlich leistungsfähiger und vielseitiger als der ebenfalls schon zu diesem Zeitpunkt auf dem Hof eingesetzte Elektromotor. [Hey 63] S. 18 Die folgende Abbildung 2- 1 zeigt eine der ersten Mähmaschinen, die für die Getreideernte eingesetzt wurden.



**Abbildung 2– 1: Mech. Mähmaschine, gezogen/geschoben von zwei Pferden um 1840** *Quelle: [nach Hey 63 S. 19]*

In dem Buch der Landmaschinenlehre von „Heinrich Heyde“ wird das Wesen der Landwirtschaft wie folgt beschrieben:

„Dem Menschen sollte in Zukunft nur das Steuern und Überwachen der Maschine verbleiben, während der Arbeitsvorgang selbst statt durch menschliche Muskelkraft durch eine leistungsfähige, ausdauernde und um vieles wirtschaftlichere Energiequelle betrieben wird, denn die PS- Stunde kostet beim Antrieb in Form menschlicher Muskularbeit immerhin einen ganzen Tagesverdienst, während das Elektrizitätswerk diese Energiemenge für etwa 8 Pfennige abgibt“ [Hey 63] S. 20

## 2.2 Ziele des Maschineneinsatzes

Laut „Heinrich Heyde, 1963“, gibt es drei grundsätzliche Wirkungsmöglichkeiten einer Landmaschine: eine Arbeit leichter, schneller und besser erledigen. Hierdurch ergeben sich bei dem Einsatz von Maschinen an mehreren Stellen Verbesserungsmöglichkeiten der Arbeitsabläufe. [Hey 63] S. 25

Allerdings war bereits damals klar, dass neben den blanken Zahlen der verbesserten Produktivität durch den Einsatz der Maschinen – also die gestiegenen Erträge pro Hektar und die verringerte Zeit, die für das Bestellen/Abernten eines Hektars benötigt wird – auch die Aufwendungen für den Maschinenpark, Betriebsmittel und andere dazugehörige anfallende Kosten berücksichtigt werden müssen. [Hey 63] S. 27

Es muss daher angestrebt werden, durch den Fortschritt in der Mechanisierung nicht nur schneller und effektiver, sondern auch billiger zu produzieren. Durch den Einsatz schnellerer und größerer Maschinen ergibt sich zwar eine Reduzierung des Arbeitsaufwandes je Erzeugnis- Einheit, allerdings verursachen die immer größer werdenden Maschinen erhebliche Kosten durch ihren Verbrauch an Hilfs- und Betriebsstoffen sowie durch ihre Instandhaltung. Eine hohe Ausnutzung der Maschinen könnte daher erheblich dazu beitragen, die festen/fixen Kosten zu senken. [Hey 63] S. 28

## **2.3 Antriebstechnik**

Die Quelle von Zugkräften, wie sie in der Landwirtschaft benötigt werden, ist abgesehen von früheren Zugtieren immer eine Kraftmaschine. Der Verbrennungsmotor ist dabei heute die gängigste Methode eine mobile Arbeitsmaschine anzutreiben. Zu den Zugmaschinen werden neben dem Traktor/Schlepper auch selbstfahrende, spezielle Arbeitsmaschinen wie z.B. Mähdrescher, Rübenroder, Maishäcksler und andere gezählt.

Traktoren verfolgen zwar nicht den gleichen Hauptzweck wie ein kraftbetriebenes Verkehrsmittel, werden jedoch aufgrund ihrer einzelnen Wirkungsweisen die einem Kraftfahrzeug sehr ähnlich sind, dem Grundlagengebiet der Kraftfahrzeugkunde zugeordnet. [Hey 63] S. 180ff

### **2.3.1 Geschichte der Antriebstechnik**

Die eigentliche Entwicklung des Traktors hängt ebenso wie die Entwicklung des PKW eng mit der Nutzung der Dampfmaschine zusammen. Die Erfindung der Dampfmaschine (James Watt, 1782) führte später durch Weiterentwicklungen und Kombinationen mit landwirtschaftlichen Zugmaschinen für Pferde zur Einführung des Seilpflugsystems. Auch der erste Kettentraktor aus dem Jahr 1896 (F.A. Blinow) wurde mit Hilfe von Dampfkraft angetrieben. Erst um die Jahrhundertwende vom 19. in das 20. Jahrhundert ergaben sich neue Entwicklungsmöglichkeiten durch die Erfindungen von Otto- und Dieselmotor. Die Motoren waren im Vergleich zur Dampfmaschine wesentlich kleiner und leichter, und dadurch natürlich auch handlicher. Hierdurch ergab sich erstmals die Möglichkeit, Energiequelle und landwirtschaftliches Gerät in eine feste Verbindung zu bringen. Die erste derartige Maschine, die sich aus dieser Kombination ergab, war ein Motorpflug. Nach dem Bau des Motorpflugs folgten wenig später schon die ersten Zugmaschinen. [Blu 71]

Die ersten Modelle dieser noch recht steifen Konstruktionen fuhrten noch auf Eisenrädern oder Gleisketten, die um 1930 durch Traktoren mit Luftgummireifen ersetzt wurden. Durch den Wechsel zu Luftreifen stieg das Aufgabengebiet der Traktoren. Nun war es möglich neben den Zugarbeiten auf den Feldern auch Transporte über die Straße und andere Aufgaben abseits der Felder mit Hilfe des Traktors zu erledigen. Neben den Reifen kamen immer weitere Neuerungen zum Traktor hinzu. Der Einsatz einer Riemenscheibe – die meist seitlich am Traktor angebracht war – ermöglichte es, durch Zuhilfenahme von Seilen/Riemen eine separate Arbeitsmaschine anzutreiben. Durch die Einführung der Zapfwelle, tat sich ein weiteres Aufgabengebiet auf. Fortan war es möglich, Drehbewegungen auf Teile der angehängten Geräte zu übertragen. Im Laufe der Zeit gab es immer wieder neue Komponenten, die dem Traktor beigelegt wurden und das Arbeiten zunehmend vereinfachten. Als wichtigste ist hierbei sicherlich die Einführung der Hydraulik zu benennen. Die Hydraulik ermöglicht es, durch Öldruck, schwere Lasten zu heben. Nachdem die Hydraulik anfangs nur dafür verwendet wurde, mit Hilfe eines Krafthebers das Anhängen der Anbaugeräte zu erleichtern, ergab sich durch die Steuerung eines Frontladers nochmals ein neues Aufgabengebiet, welches über die spezielle Nutzung in der Landwirtschaft hinausging. [Blu 71] S. 14-16

### **2.3.2 Antriebstechnik heute**

Vom Grundkonzept sind sich damalige und gegenwärtige Traktoren noch sehr ähnlich. Die Anordnung des Motors und der Fahrerkabine sind damals und heute noch kongruent. Der damals ausschließlich vorkommende Hinterradantrieb durch große Reifen und die Lenkung durch kleine Reifen vorne, ist heute ebenfalls noch vorzufinden, wie die Möglichkeit des Geräteanbaus im Heck des Fahrzeugs. Die Technik einzelner Komponenten hat sich mit der Zeit jedoch immer weiterentwickelt. So bietet die Fahrerkabine gegenwärtig einen recht hohen Komfortstand. Zudem hat die Motorleistung von anfangs unter 30 PS auf heute bis weit über 300 PS enorm zugenommen. Im gleichen Schritt sind die Traktoren bei ihren Ausmaßen und ihrem Gewicht ebenfalls angewachsen. Die Möglichkeit der zusätzlich angetriebenen Vorderachse ist ebenso eine Neuerung, wie die elektronische Ausrüstung der Fahrzeuge. Auch die heutigen Hydraulikanlagen sind wesentlich leistungsfähiger geworden. Bezüglich der Schaltung ist man von damals wenigen hakenden Gängen, über die Lastschaltung zu den, Mitte der 90er Jahre eingeführten stufenlosen Getrieben (CVT-Getriebe), die sich heute etabliert haben,

gewechselt. Diese Getriebe ermöglichen nicht nur einen großen Fahrkomfort durch den Wegfall des Ruckes bei den Schaltvorgängen, sondern verhelfen primär zu einem effektiveren Arbeiten. Der Wirkungsgrad dieser Getriebe ist dabei heutzutage schon nahezu optimal. [Pfa 10] S. 1-3

## **2.4 Heutige Kraftfahrzeuge in der Landwirtschaft**

Der Traktor stellt sicherlich das Fahrzeug dar, an das als erstes beim Thema Landwirtschaft gedacht wird. Wie in Kapitel 2.1 beschrieben, hat der Traktor nach und nach fast alle auf dem Feld zu erledigen Tätigkeiten von Mensch und/oder Tier übernommen. Durch die stetige Weiterentwicklung ist es heute möglich, die meisten Vorgänge beim Bestellen, Pflegen und Abernten der Felder mit Hilfe des Traktors oder anderer mobiler Arbeitsmaschinen zu erledigen. Seit geraumer Zeit nimmt die Motorisierung bestimmter Arbeitsgeräte stetig zu. So sind aktuell moderne Erntemaschinen teilweise schon Selbstfahrer. Die unten stehende Auflistung zeigt, dass die Vielfalt an Kraftfahrzeugen in der Landwirtschaft äußerst groß ist. Zu der Auflistung gesellen sich ferner viele Exoten von Fahrzeugen, die auch in geringeren Stückzahlen als Selbstfahrer hergestellt wurden, sich allerdings nicht durchsetzen konnten.

- Traktor
- Selbstfahrer:
  - Mähdrescher
  - Häcksler
  - Rübenroder
  - Kartoffelroder
  - Zwiebelroder
  - Spritze
  - Traubenvollernter
  - Verladebänder
  - Etc.
- LKW
- Radlader/Teleskoplader
- Gabelstapler
- PKW

Ob eine Maschine sich als Selbstfahrer lohnt, muss im Einzelfall überprüft werden. Bezugnehmend auf Mähdrescher und Rübenroder sind die Vorteile der Selbstfahrer so groß, dass sich die vom Schlepper gezogene Variante nicht halten konnte. [Pfa 10] S. 3

## **2.5 Landwirtschaftliche Güter**

Die Landwirtschaft ist der Produktionssektor, der die höchste Abhängigkeit von natürlichen Grundlagen aufweist. Dies ist insbesondere bei der pflanzlichen Erzeugung der Fall. Der Standort entscheidet maßgeblich darüber, was wie angebaut wird. Das lokale Klima, die Lichtverhältnisse, die Wasserversorgung und die im Boden enthaltenen Mineralien entscheiden über die zu wählende Anbaukultur und ihren zu erwartenden Ertrag. Die Einflussnahme des Menschen ist in Hinsicht des Klimas nicht gegeben, jedoch kann auf die Bodenstruktur Einfluss genommen werden. Das tiefe Umpflügen ermöglicht auch auf vermeintlich ungeeigneten Flächen einen Ackerbau. Durch den Einsatz von Drainagen ist es möglich, besonders tiefe und nasse Böden zu entwässern und dadurch ebenfalls zu bewirtschaften. Das Gegenteil stellt die Verrohrung und das Bohren von Brunnen dar, wodurch an besonders trockenen Standorten gezielt bewässert werden kann. Für den Fall eines besonders nährstoffarmen Bodens trägt eine mineralische Düngung zu einer erhöhten Fruchtbarkeit bei. [Klo 09] S. 8 ff

In fast allen Bundesländern nimmt die landwirtschaftliche Nutzungsfläche 50 % oder mehr der Gesamtfläche ein. Ausnahmen bilden hierbei erwartungsgemäß die Stadtstaaten, die einen Sonderfall darstellen. In Bundesländern wie Niedersachsen, Schleswig-Holstein u.a. nehmen die Flächen sogar 60 % ein. Wenn man zu den landwirtschaftlichen Flächen auch noch die Waldflächen hinzu addiert, nehmen diese bei der Betrachtung von Niedersachsen und Bayern durchweg 80 - 90 % der Gesamtfläche ein. [Klo 09] S. 9

Die Anbaukulturen sind, wie erwähnt, abhängig von den natürlichen Gegebenheiten und bestimmen damit ebenfalls die regionalen Betriebsausrichtungen. In den gebirgigen Regionen, wie im Alpenvorland, bestimmt der Futteranbau die Nutzungsflächen, da viele Betriebe auf die Rinderhaltung ausgerichtet sind. In den fruchtbaren Regionen Norddeutschlands ist dahingehend der Ackerbau vorherrschend. [Klo 09] S. 8 ff

Die Landwirtschaft in Deutschland verfügt über ein weites Spektrum an Erzeugnissen. In den folgenden Kapiteln werden Grundinformationen zu den gängigsten in Deutschland



vorkommenden Anbaustrukturen gegeben. Neben den pflanzlichen werden auch die tierischen Erzeugnisse betrachtet.

In den meisten Regionen Deutschlands wird nach einer Fruchtfolge angebaut. Das bedeutet, dass je nach Bodenbedingungen auf eine angebaute Pflanze eine weitere folgt, die die hierfür passenden Eigenschaften mit sich bringt. Zu den wichtigen Eigenschaften ist hierbei die Tiefe der Wurzel zu zählen, die eine Pflanze hat, aber natürlich auch der Zeitpunkt der Aussaat und der Ernte. Beispielweise sollte auf eine Zuckerrübe nicht wieder die Zuckerrübe folgen, da diese sehr tief wurzelt und sich selbst unverträglich ist. Sinnvoll ist hierbei ein Wechsel von tief- und flachwurzelnden Pflanzen. Beim Beispiel der Zuckerrübe ist als Vorfrucht die Gerste und als Folgefrucht der Weizen geeignet. Die Fruchtfolge ist somit je nach regionalem Nährstoffreichtum des Bodens zu wählen und ggf. mit Zwischenfrüchten zu ergänzen. [Klo 09] S. 152

### **2.5.1 Getreide**

Der Getreideanbau in Deutschland nimmt derzeit mit ca. 50 % den größten Anteil der bewirtschafteten Ackerflächen ein. Das Getreide nimmt eine wichtige Rolle bei der Betrachtung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse ein. Neben der direkten Nahrungsquelle als Rohkomponente für Lebensmittel, stellt das Getreide auch ein Hauptprodukt bei der Herstellung von Futtermittel für die Nutztierhaltung dar. Der Getreidepreis trägt somit auch zu der Preisbildung von tierischen Produkten, wie Fleisch und Milch, bei. [Klo 09] S. 72 ff

Untenstehend folgt eine Auflistung der gängigsten Hauptgattungen, der in Deutschland angebauten Getreide:

- Weizen
- Gerste
- Hafer
- Roggen
- Mais

Die beiden letzteren werden seit dem Aufschwung der Biogasanlagen – vermehrt, oder regional sogar größtenteils – als Biomasse für die Stromgewinnung verwendet. [Klo 09] S. 72 ff

### 2.5.2 Zuckerrüben

Die Zuckerrübe ist eine Hackfrucht. Hackfrüchte zeichnen sich dadurch aus, dass sie während ihres Wachstums äußerst arbeitsintensiv sind. Durch das langsame Wachstum der Zuckerrübe wachsen unerwünschte Wildkräuter leicht über die Zuckerrübe hinaus. Diese Tatsache erfordert ein häufiges **Behacken** der Zuckerrübe, ebenso müssen Rüben, die nicht in der gewünschten Reihe stehen, mit einer **Hacke** entfernt werden. Diese Eigenschaften machen die Zuckerrübe zu einer Hackfrucht. Zweck des Anbaus der Zuckerrübe ist die Gewinnung von Zucker. Jedoch gibt es bei den Erträgen teils große Unterschiede. Die Bodenbedingungen, die Jahreswitterung, aber auch die Wahl der Sorte, haben Einfluss auf den Ertrag. Ein Nebenprodukt der Zuckerrübe ist das Rübenblatt. Das Rübenblatt kann als Viehfutter verwendet, aber auch als Dünger wieder in den Boden eingearbeitet werden. [Klo 09] S. 151

### 2.5.3 Weinbau

Im süd- westlichen Bereich Deutschlands findet man vermehrt (auch den) Weinanbau. In den Regionen in und um Baden- Württemberg und Rheinlad-Pfalz ist der prozentuale Anteil der Ackerflächen mit Weinanbau deutlich höher als im restlichen Deutschland. Diese Unterschiede sind kein Zufall, sondern ergeben sich aus speziellen Bedingungen die für den Anbau von Wein notwendig sind. Neben einem recht milden Winter ist auch hier wieder eine geeignete Bodenkultur gefragt. Hänge und die Täler rund um den südlichen Teil des Rhein und seiner Nebenflüsse bringen diese Voraussetzungen mit sich. Dadurch, dass der Weinbau eine ständige Pflege durch einen Winzer bedarf, wird der Boden durch häufiges Begehen und Befahren extrem verdichtet. Diese Verdichtung erfordert gleichzeitig eine gezielte Bodenpflege. Der Boden muss mehrmals jährlich mechanisch aufgelockert, abgedeckt aber auch begrünt werden. Die Bodenpflege ist insbesondere an Steilhängen sehr wichtig, um ein Abtragen der Hänge zu verhindern. [Klo 09] S. 86 ff

#### **2.5.4 Sonderkulturen**

Neben den zuvor aufgeführten Anbaukulturen zählen auch weitere bekannte Produkte, wie das Grünland u.a., aber auch einige Sonderkulturen. Zu den Sonderkulturen in Deutschland gehören:

- Blumen und Zierpflanzen
- Baumobst
- Beeren
- Gemüse
- Baumschulen
- Hopfen
- Weinreben

Die Sonderkulturen machen gerade einmal gut 2 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche aus, wobei der Weinbau aus dem vorangeführten Absatz schon ca. 1/3 dieser Fläche bedeckt. Nach Aufteilung der restlichen Kulturen in bestimmte Obste oder Gemüse, ist ihr Anteil an der gesamten Nutzfläche geradezu verschwindend gering. [Klo 09] S. 120 ff

#### **2.5.5 Sauenhaltung/Schweinemast**

Die Schweinehaltung in Deutschland konzentriert sich zum größten Teil auf die alten Bundesländer. Im Jahr 2007 beispielweise entfielen 86 % der gehaltenen Schweine auf die alten Bundesländer und nur 14 % auf die Neuen. Diese Zahlen beschreiben lediglich die Anzahl der Schweine, wenn man jedoch nicht nach Anzahl der Tiere, sondern nach Anzahl der Betriebe geht, werden diese Zahlen noch deutlicher. In den neuen Bundesländern sind nur 7 % der Betriebe angesiedelt, die Schweinehaltung betrieben. Die restlichen 93 % befinden sich in den alten Bundesländern. Während die Durchschnittsgröße der einzelnen Betriebe in den neuen Bundesländern je Land relativ ähnlich ist, ist bei den alten Bundesländern ein deutlicher Unterschied zu erkennen. Beim Ländervergleich von Saarland und Schleswig-Holstein zum Beispiel, ist eine besonders große Differenz der Betriebsgröße zu erkennen. Im Saarland entfallen durchschnittlich 84 Schweine auf einen Betrieb, wohingegen es in Schleswig-Holstein 737 Tiere sind. [Klo 09] S. 176

### **2.5.6 Milch**

Bei der Milchkuhhaltung nehmen die beiden größten Bundesländer auch den größten Anteil an der Haltung von Milchkühen ein. In Bayern und Niedersachsen sind knapp 48% der Milchkühe Deutschlands aufzufinden. Diese Tatsache liegt neben der Flächengröße der beiden Länder vor allem daran, dass die Milchviehhaltung insbesondere auf traditionellen Grünlandgebieten stattfindet. Diese sind insbesondere Küsten- und Mittelgebirgsgebiete und natürlich das Alpenvorland. Die langjährige staatliche Einflussnahme auf diesen Sektor der Landwirtschaft hat dazu geführt, dass die Milchviehhaltung in den traditionellen Regionen bis heute erfolgt und auch keine räumliche Verlagerung zu erwarten ist. [Klo 09] S. 50

## **2.6 Geschichte der Elektromobilität**

Nachdem in den bisherigen Grundlagenkapiteln auf die Landwirtschaft und ihre Fahrzeuge eingegangen wurde, werden in den nächsten Kapiteln Grundlagen zur Elektromobilität vermittelt.

Die ersten Elektromotoren fanden direkt nach ihrer Praxistauglichkeit – vor rund 180 Jahren – Anwendung im mobilen Einsatz. Die folgenden technischen Entwicklungen von Akkumulatoren führten schließlich zu der Erfindung des Elektroautos. [Kam 13] S. 6

Das erste anerkannte Elektrofahrzeug der Welt hat der französische Physiker „M. Gustave Trouvé“ erfunden. Trouvé stellte im Jahre 1881 auf der Exposition „d’Electricité“ sein dreirädriges Fahrzeug vor. Das Gefährt hatte sechs Blei- Akkus, zwei Elektromotoren und erreichte eine Maximalgeschwindigkeit von 12 km/h. Das erste Elektroauto gab es somit schon ca. fünf Jahre bevor Karl Benz sich seinen ersten Motorwagen mit Verbrennungsmotor patentieren ließ. Ein Grund dafür, dass das Elektroauto schon vor dem Auto mit Verbrennungsmotor eingeführt wurde, war, dass die Batterietechnik der Verbrennungsmotorentchnik etwas voraus war. So konnten bereits im Jahr 1880 die ersten Blei-Akkus in Serie gehen und somit industriell hergestellt werden. Hierdurch war damals schon zu erkennen, dass die Batterietechnik eng mit der Entwicklung der Elektromobilität zusammenhängt. [Dav 13], [Lin 12] S. 6

Die erste Batterie der Welt erfand der Italiener Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta um das Jahr 1800. Die Weiterentwicklung der Batterietechnik wurde in den folgenden zwei Jahrhunderten allerdings eher vernachlässigt, was sicherlich auf die Einführung des Verbrennungsmotors zurückzuführen ist. Durch diese Vernachlässigung ergaben sich damals schon, und ergeben sich auch heute noch, insbesondere Reichweitennachteile der Elektromobilität im Vergleich mit dem Verbrennungsmotor. [Dav 13]

Dennoch, wird damals auch neben dem Auto mit Verbrennungsmotor, auch das Elektroauto weiterentwickelt. So ist es am 29. April 1899 der belgische Rennfahrer Camille Jenatzy, der als erster die 100 km/h-Marke durchbricht - und zwar mit einem Elektromobil. Ein Jahr nach diesem Rekord präsentiert die Firma „k.u.k.-Hofwagen-Fabrik Jakob Lohner & Co“ mit ihrem Chefsingenieur „Ferdinand Porsche“ auf der Weltausstellung in Paris ein durch zweiradnarben angetriebenes Elektrofahrzeug, welches in der Folge zum ersten allradangetriebenen Fahrzeug der Welt weiterentwickelt wird. Im Jahr 1901 schaffte es ein Elektroauto eines französischen Herstellers 300 km ohne Nachladen zurückzulegen. [Dav 13], [Lin 12] S. 6

Anfang des 20. Jahrhunderts gab es **drei** Antriebskonzepte für Fahrzeuge. So wurden in den USA ca. 40 % der Fahrzeuge mit **Dampf**, 38 % mit **Strom** und 22 % mit Hilfe des **Verbrennungsmotors** angetrieben. Der Antrieb mit Dampf stellte auf Dauer allerdings keine wirkliche Konkurrenz zu den anderen beiden Methoden dar. In Perspektive auf Größe und Gewicht konnte die Methode nicht länger mithalten. Das sich der Verbrennungsmotor allmählich gegen den Elektromotor durchgesetzt hat, hat viele Gründe. Die Entwicklung des Verbrennungsmotors nahm so rasant zu, dass er die Vorteile eines Elektromotors allmählich ausglich und fortan die eigenen Vorteile überwogen. Beispielsweise war die Einführung des Elektrostartes bei Verbrennungsmotoren eine Entwicklung, die den Elektrofahrzeugen einen großen Vorteil in Sachen Komfort nahm. Hierdurch verlor das Elektroauto seinen Vorteil, insbesondere bei der weiblichen Bevölkerung. Weitere Nachteile bestanden damals wie heute in der Reichweite, aber auch bei der Geschwindigkeit. Mit den Weiterentwicklungen der Technologien entwickelte sich gleichzeitig ein wachsendes Bedürfnis nach Mobilität. Auch der größere Fahrspaß mit einem Verbrennungsmotor dürfte eine kleine Rolle gespielt haben. Letztendlich machten sich die Vorteile des Verbrennungsmotors jedoch bei seinem Einsatz im Ersten Weltkrieg

bemerkbar. Die größere Reichweite, die Verfügbarkeit der Energie, die Beständigkeit des Motors und seine Unempfindlichkeit gegen Wettereinflüsse waren hier nicht aufzuwiegen. Nach Kriegsende erfuhr der Elektroantrieb dann keinen weiteren Aufschwung, der es ihr ermöglicht hätte, nochmals mit dem Verbrennungsmotor zu konkurrieren. [Lin 12] S. 6-10

In Tabelle 2- 1 sind nochmals die wichtigsten Ereignisse vom ersten Elektroauto bis zum heutigen Tag dargestellt.

**Tabelle 2- 1: Geschichte der Elektromobilität**

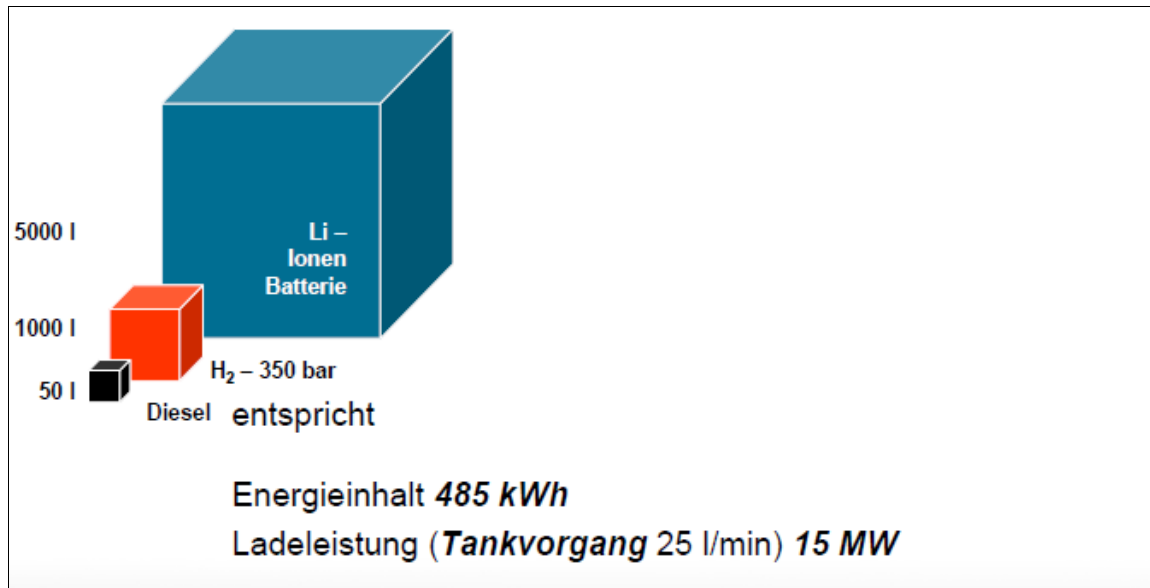
1834	<i>Thomas Davenport (USA) baut das erste Elektroauto - allerdings konnte die Batterie nicht aufgeladen werden.</i>
1860	Erste aufladbare Bleibatterien kommen auf den Markt.
1881	Ein dreirädriges Elektroauto von M. Gustave Trouvé wird auf der Pariser "Internationale Elektrizitätsausstellung" vorgestellt.
1886	Benz und Daimler bauen das erste Fahrzeug mit Verbrennungsmotor.
1898	90 Prozent aller Taxis in New York werden elektrisch angetrieben.
1899	Das erste Fahrzeug, das die 100km/h-Geschwindigkeitsgrenze durchbricht, ist ein Elektroauto: Der "La Jamais contente" fährt 105 km/h.
1914	Henry Ford beginnt mit der Massenproduktion von Autos mit Verbrennungsmotor. 500 bis 1,000 \$ kosten seine Autos - ein Elektroauto kostet ca. 1.750 \$.
1907 - 1938	Mehr als 30 Jahre dauerte es, bis das Elektroauto "Detroit" fertig gebaut wurde.
1940 - 1973	Mehr als 30 Jahre lang werden in den USA, Japan und Europa immer wieder Prototypen gebaut, die aber nie in Serie gingen.
1970	Elektro-Trabbi von Dr. Schulze und den Brüdern Wey
1973	Ölkrise; Der Ölpreis steigt immer weiter, trotzdem bleibt Elektromobilität ein Randthema.
1990er	Begriffe, wie Klimawandel und CO <sub>2</sub> -Ausstoß spielen eine immer größere Rolle in der politischen Diskussion.
1996	Elektrobike Twike geht in Serie. Ist aber etwas für Liebhaber.
2000	Biodiesel erreicht nicht die erhoffte Bedeutung.
2007 - 2009	Nach fast 100 Jahren "Dornröschenschlaf" der Elektroautos erhält das Thema wieder neuen Schwung, trotzdem es ständig Elektrofahrzeuge als Nischen- und Bastlerfahrzeuge gab.
2009	Der "Nationale Entwicklungsplan für Elektromobilität" wird vorgestellt.
2010	Gründung der Nationalen Plattform Elektromobilität
2011	Das Regierungsprogramm Elektromobilität wird vorgestellt, Förderung der Elektromobilität in Schaufenstern.
2012	Vier Schaufenster Elektromobilität starten (bis 2015), die Projekte mit einer Gesamtsumme von 180 Mio. Euro fördern.
2013	Mai: Internationale Konferenz Elektromobilität <i>Quelle: [nach vku 13]</i>

## 2.7 Elektrofahrzeuge heute

Heutige Elektrofahrzeuge lassen sich je nach Elektrifizierung in grob vier verschiedene Kategorien einteilen. Dabei gibt es drei verschiedene Formen der Hybridfahrzeuge und zusätzlich noch die reinen Elektrofahrzeuge. Die Hybriden zeichnen sich dadurch aus, dass sie mind. zwei verschiedene Formen von Motoren beinhalten. Der Verbrennungsmotor ist im Vergleich zum Elektromotor dabei jedoch der wesentlich stärkere. Formen der Hybriden sind: Klassische Hybridfahrzeuge (HEV), Plug-in Hybridfahrzeuge (PHEV) und der serielle Hybrid (RREV). [Sch 11] S. 24, 25

Reine Elektrofahrzeuge, die die vierte Variante darstellen, lassen sich jedoch ebenfalls noch einmal in zwei Unterkategorien aufteilen. Zum einen gibt es die Methode der Energiebereitstellung durch die Mitnahme von Batterien/Akkus. Bei diesen batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV) erhält der Elektromotor die zum Fahren notwendige Energie direkt als elektrische Energie aus den Batterien. Im Fall der Brennstoffzelle ist das System ein anderes. Bei den Brennstoffzellenfahrzeugen (FCV) ist die notwendige Energie vorerst als Wasserstoff in Tanks gespeichert. Die Energie muss hierbei erst mit Hilfe von Brennstoffzellen in elektrische Energie umgewandelt werden. Die Unterschiede bei den reinen Elektrofahrzeugen sind somit relativ groß. Die Brennstoffzelle stellt daher nicht wie die Akkus den Energiespeicher dar, sondern fungiert als Wandler der Energie. Das Speichern der notwendigen Energie geschieht bei Brennstoffzellenfahrzeugen ebenso wie bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren durch das Mitführen von Tanks in den der eigentliche Kraftstoff gelagert ist. Angetrieben werden beide Typen der reinen Elektrofahrzeuge allerdings über einen Elektromotor. [Sch 11] S. 24, 25

Die folgende Abbildung 2- 2 aus einer Präsentation des „Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme“ zeigt das derzeitige grobe Verhältnis der Energiegehalte von verschiedenen Energiequellen.



*Quelle: siehe oben*

**Abbildung 2– 2: Energiedichtenvergleich verschiedener Energieträger**

Alle drei abgebildeten Blöcke stellen die gleiche Menge an Energie bereit. Der blaue/hinterste Block bildet dabei die Energiedichte von Akkumulatoren ab, der rote/mittlere Block die Energiedichte von Wasserstoff, welche in den Brennstoffzellen verwendet wird. Der schwarze/vorderste Block zeigt die Energiedichte von Diesel. Die Angabe der Energiedichte von Akkumulatoren unterliegt dabei einigen Variablen und ist daher nicht als fester Wert anzusehen.

*Anmerkung:* In der Arbeit werden sowohl die Begriffe „Batterie“, „Akku“ und auch „Akkumulator“ verwendet. Die Batterie nimmt dabei den umgangssprachlichen Überbegriff von Akkus ein. Die Begriffe „Akkumulator“ und „Akku“ bezeichnen jeweils einen wiederaufladbaren Speicher für elektrische Energie.

## 2.8 Ladetechnik

Die Ladung von Batteriefahrzeugen ist gegenwärtig in drei verschiedenen Bereichen möglich. Zu den Bereichen zählen der:

- Öffentliche Bereich
  - Zu dem öffentlichen Bereich zählen Ladepunkte, die für jeden Nutzer frei zugänglich und an keine Voraussetzungen geknüpft sind. Vergleiche mit typischen Tankstellen, wie sie jeder kennt, oder auch Parkplätze an öffentlichen Straßen sind hier zu benennen.



- Halböffentliche Bereich
  - In den halböffentlichen Bereich fallen: Einkaufszentren, Parkhäuser, Flughäfen etc. Grundgedanke hierbei ist es, sein Fahrzeug an der Stelle zu laden, an der es ohnehin kurzzeitig geparkt wird.
- Private Bereich
  - Der private Bereich stellt Ladepunkte für einen definierten Nutzerkreis dar. Da Ladung findet hier zumeist zu Hause oder auf gemeinschaftlich genutzten privaten Bereichen statt.

Bei der Ladetechnik von diesen Elektrofahrzeugen gibt es ebenfalls wie bei den unterschiedlichen Bereichen verschiedene Möglichkeiten ein Fahrzeug bzw. die Batterien wieder aufzuladen.

Grob unterschieden wird in folgende vier unterschiedliche Arten des Ladens:

- AC- Ladung (Wechselstrom)
- DC- Ladung (Gleichstrom)
- Induktionsladung
- Batteriewechsel

Die Arten des Ladens können sich jedoch innerhalb der Bereiche unterscheiden. Die AC-Ladung hat sich inzwischen als Standardladeart etabliert. Sie stellt in allen drei Bereichen der Ladepunkte eine relativ günstige Form der Ladetechnik dar. Bei dieser Art des Ladens sind durch ihre verschiedenen Einstellungsmöglichkeiten und die damit verbundene große Variabilität im Einsatz Ladeleistungen von 3,7 kW bis 45 kW möglich. Die Ladeleistung hängt von der vorhandenen Stromquelle und dem dadurch zu wählenden Modus der AC-Ladung ab. [men 13]

Die DC- Ladung wird wiederum in zwei Typen der Ladung unterteilt. Zum einen gibt es die DC- Low- Ladung mit einer Ladeleistung von bis zu 38 kW, zum anderen die DC-High- Ladung die eine Ladeleistung von bis zu 170 kW ermöglicht. Jedoch bringt diese Art des Ladens, durch ihre recht hohen Ansprüche an die Ladeinfrastruktur relativ hohe Investitionskosten mit sich. [men 13]

Das Induktionsladen ist eine äußerst kostenintensive Form der Ladung. Geladen wird bei dieser Methode kontaktlos über im Boden installierte Induktionsschleifen. Der technische Aufwand im Fahrzeug und bei der Ladestation ist allerdings äußerst groß, wodurch sich die

sehr hohen Investitionskosten ergeben. Diese Art stellt sicherlich die unproblematischste Form des Ladens dar, ist allerdings noch weit von der Markteinführung entfernt. [men 13]

Bei dem Batteriewechsel wird der Akku des Fahrzeugs an Wechselstationen gegen einen neuen, vollen Akku ausgetauscht. Diese Methode liefert jedoch die größten Probleme bei einer Standardisierung. Die verschiedenen Hersteller der Fahrzeuge und die verschiedenen Fahrzeugtypen mit unterschiedlichen Ansprüchen an die Akkus verhindern diese Form der Ladung für den öffentlichen Bereich. Ausnahmen sind an dieser Stelle große Flotten von Fahrzeugen. [men 13]

Das in Deutschland jetzt schon sehr gut ausgebaute elektronische Energieinfrastrukturnetz stellt einen großen Vorteil für die Elektromobilität dar. Derzeit fehlen im öffentlichen Bereich lediglich die Ladesäulen um ein Aufladen der Fahrzeuge zu ermöglichen. Die meisten Ladevorgänge finden derzeit an privaten Ladestationen statt. Problem gibt es aktuell bei der Zählerstruktur. Noch ist es nicht möglich, mit den vorhandenen Zählern eine spezielle Abrechnung für Strom zu Energiezwecken vorzunehmen. Auch eine Abrechnung für einzelne Ladevorgänge gestaltet sich dementsprechend schwierig. Eine einfache Abrechnungsstruktur ist sowohl für den öffentlichen als auch für den halböffentlichen Bereich eine elementare Voraussetzung um eine hohe Akzeptanz zu erreichen. Auch für den privaten Bereich ist eine gute Abrechnungsstruktur erforderlich, um die gemeinsamen Nutzung einer Ladestelle durch mehrere Parteien zu ermöglichen. [Lin 12] S. 35

### **3 Vorteile der Elektromobilität**

Bei einem Fahrzeug, das mit Strom angetrieben wird, existieren im Vergleich zu einem, welches mit einem Verbrennungsmotor angetrieben wird wesentliche Unterschiede. Wenn auch von außen bei den Fahrzeugen kaum große Unterschiede sichtbar sind, sind die Antriebstechniken der verschiedenen Fahrzeuge komplett andere. Die folgenden Kapitel stellen einige wesentliche Vorteile durch Elektromotoren im Fahrzeug den Eigenschaften eines Dieselmotors gegenüber.

#### **3.1 Vorteile im Fahrzeug**

Eine der grundlegendsten Komponenten ist, dass elektrische in mechanische Energie umgewandelt werden muss. Hierbei sind der Elektromotor und die Batterie die beiden Hauptelemente des Antriebs bei BEV. Bei den FCV, bilden wie in Kapitel 2.7 bereits erwähnt, neben dem Elektromotor zusätzlich der Wasserstoff aus den Tanks und die Brennstoffzelle als Wandler der Energie, die Hauptkomponenten des Antriebs. Des Weiteren finden sich Nebenaggregate, wie das Kühlsystem des Elektromotors, im Fahrzeug wieder. Neben den zusätzlichen Komponenten, gibt es jedoch auch Teile des Fahrzeugs die überflüssig sind. Eine konventionelle Abgasanlage wird fortan nicht mehr benötigt. Im Fall der BEVs ist zudem eine Kraftstoffversorgung überflüssig geworden. Die hierdurch entstehenden Freiräume bieten folglich Platz für die Unterbringung von benötigten Batterien. [emo 13], [Sch 11] S. 25

Elektrische Antriebe haben somit wie erwähnt, einige Vor- aber auch Nachteile im Vergleich zu Verbrennungsmotoren. In Tabelle 3- 1 werden bestimmte Eigenschaften eines Motors am Beispiel von einem Elektro- und einem Dieselmotor gegenübergestellt.

Tabelle 3- 1: Gegenüberstellung von Elektro- und Dieselmotor

<b>Elektromotor</b>	<b>Dieselmotor</b>
<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>
Hoher Wirkungsgrad bis 95 %	Wirkungsgrad nur bei bis zu 42 %
Max. Moment bereits bei Drehzahl Null	Kein Moment bei Drehzahl Null
Rückspeisefähig	Nicht rückspeisefähig
Weiter Drehzahlbereich	Mäßiger Drehzahlbereich
Geräuscharm	Mittlere Geräusche
Vibrationsarm	Hohe Vibrationen
Hohe Lebensdauer	Mäßige Lebensdauer
Kaum Verschleiß → kaum Wartung nötig	Viel Verschleiß → regelmäßige Wartung
Guter Wirkungsgrad im Teillastbereich	Schlechter Teilwirkungsgrad
Produziert keine Abgase	Produziert Abgase
Neue Antriebsanordnung möglich	
<b>Nachteile</b>	<b>Vorteile</b>
Mobile Energieversorgung schwierig	Energie mobil verfügbar
Niedrige Kühltemperatur nötig (ca. 60° C)	Hohe Kühltemperatur
Begleittechnik hängt <i>noch</i> hinterher	Begleittechnik auf sehr gutem Stand

Quelle: [nach emo 13]

Durch die aufgeführten Vor- und Nachteile wird deutlich, dass das Leistungsverhalten eines Elektromotors besonders für den Einsatz zur Fortbewegung geeignet ist. Ein Hauptgrund, warum der Elektromotor heute wieder eine Alternative zum Verbrennungsmotor darstellt, ist sein höherer Wirkungsgrad. Bei Verbrennungsmotoren geht ein Großteil der Energie durch Abwärme und Reibung verloren, sodass sich bei einem Dieselmotor ein durchschnittlicher Wirkungsgrad von ungefähr 42% ergibt. Bei anderen Verbrennungsmotoren ist dieser Wert sogar noch deutlich tiefer. Eine Elektrifizierung des Fahrentriebs von Fahrzeugen senkt somit den Energieverbrauch. Die Emissionen eines Elektromotors sind insbesondere an seinem Einsatzort wesentlich geringer als bei Verbrennungsmotoren. CO<sup>2</sup>- Emissionen sind am Einsatzort gar nicht vorhanden und der die Lärm- Emissionen falle ebenfalls deutlich geringer aus. Die Drehstromcharakteristik ist ein zusätzlicher Punkt, der für einen Einsatz eines Elektromotors in Fahrzeugen spricht. Der Elektromotor stellt bereits ab der Drehzahl „Null“ ein maximales Drehmoment zur Verfügung, welches in der Folge in einem unteren Drehzahlbereich nahezu konstant bleibt. Diese Eigenschaft kann insbesondere bei dem Einsatz als Energiequelle für Zugmaschinen hilfreich sein, da eine konstante Leistung garantiert wird, welche wiederum ein effizientes Arbeiten ermöglicht. Neben den hohen Wirkungsgraden sind Elektromotoren in der Lage einen Teil der eingesetzten Energie, die für den Antrieb aufgebracht wird, bei

Bremsvorgängen wieder zurückzugewinnen – und erneut in die Batterie einzuspeisen. [emo 13], [Sch 11] S. 23, 24

Elektromotoren lassen sich durch ihre Kompaktheit an vielen Punkten eines Fahrzeugs unterbringen. Diese Tatsache ermöglicht neben einem zentralen Motor auch den Einsatz von weiteren Motoren, z.B. für jede Achse gesondert. Weiterhin ist es sogar möglich an den einzelnen Rädern Radnabenmotoren anzubringen. Die hierdurch entstehende Möglichkeit der Einzelradsteuerung bietet insbesondere Vorteile bei dem Einsatz von Fahrerassistenzsystemen. Die aufwendige Technik, die der Gebrauch des geläufigen ESP mit sich führt, würde hierdurch entfallen. Ein besonders enger Wendekreis, kann ebenfalls durch den Einsatz von Radnabenmotoren leicht erreicht werden. [emo 13]

### **3.2 Vorteile für die Umwelt**

Die Elektromobilität hat vor allem einen großen Vorteil im Vergleich zu Verbrennungsmotoren. Der Vorteil besteht darin, dass am Einsatzort der Fahrzeuge keine CO<sup>2</sup>- Emissionen entstehen. Zwar fällt CO<sup>2</sup> bei der Gewinnung und Umwandlung der Energie bzw. bei der Produktion ihres Speicherträgers an, doch bei der Nutzung des Fahrzeugs entstehen keine Emissionen dieser Art. Auch die Lärm- Emissionen sind wesentlich geringer. Diese beiden Eigenschaften sind besonders für Fahrzeuge nützlich, die sich zum Teil auch in geschlossenen Räumen (Hallen usw.) bewegen.

## 4 Messungen

In den bisherigen Kapiteln wurde ein Überblick darüber verschafft, welche beiden Sektoren bei der Umsetzung von Elektromobilität in der Landwirtschaft aufeinander treffen. Es wurden einige Grundlagen zur Landwirtschaft und ihren Maschinen und zu der Elektromobilität im Allgemeinen gegeben. In den nachfolgenden Kapiteln soll nun geprüft werden, in welchem Umfang die Landwirtschaft mit ihren Anforderungen an ihre Fahrzeuge ein Bereich ist, indem ein Einsatz von reinen Elektrofahrzeugen sinnvoll ist bzw. es sein kann. In diesem Kapitel wird dargestellt, welchen Energiebedarf typische Fahrzeuge aus der Landwirtschaft haben. Der Energiebedarf wurde durch Messungen des Kraftstoffverbrauchs bei bestimmten Arbeiten eines Traktors und eines Radladers ermittelt. Die Messungen erfolgten durch:

- das Betanken der Fahrzeuge vor der Messung,
- das Anschließen eines GPS- Trackers an den Fahrzeugen,
- der Datenerfassung während der Arbeiten
- und dem neuerlichen Tanken der Fahrzeuge nach Abschluss der Messung,

wodurch der genaue Kraftstoffverbrauch an der Tanksäule abgelesen werden konnte. Der Kraftstoffverbrauch kann durch das Messen der Zeit, die zwischen dem ersten und zweiten Tankvorgang lag, sowohl über die Zeit wiedergegeben als er auch durch die GPS-Verfolgung der Fahrzeuge über die Strecke ausgedrückt werden. Bei den mobilen Arbeitsmaschinen ist jedoch die Angabe über die Zeit mit Sicherheit die aussagekräftigere. Bei einem Traktor der auf dem Feld Arbeiten mit vielen Wendevorgängen durchführt, ist eine Angabe des Kraftstoffverbrauchs nach zurückgelegter Strecke nicht aussagekräftig. Daher werden diese Maschinen neben ihrem Alter auch – im Vergleich zum PKW nicht nach zurückgelegten Kilometern, sondern – nach Arbeitsstunden betrachtet. Bei den Messergebnissen sind die Angaben daher von der kleinsten Zeiteinheit einer Messung bis hin zu der größten Einheit angegeben. Die kleinste Einheit stellt hierbei die Periodendauer eines bestimmten Arbeitsvorgangs dar, d.h. die Zeit, die vom ersten bis zum letzten Arbeitsschritt einer Tätigkeit verstreicht – und sich die Schritte wiederholen. Als größte Einheit wird ein Arbeitstag angenommen. Ein Arbeitstag ist in der Landwirtschaft jedoch schwer mit einer festen Stundenzahl zu beziffern. Den typischen Achtstundentag gibt es nicht. Ein Arbeitstag nimmt je nach Jahreszeit und insbesondere nach Kampagne in der ein

Fahrzeug eingesetzt wird verschiedene Zeiträume ein. Die Angaben nach Tagesverbrauch sind daher nicht zu 100 % auf alle Einsätze zu projizieren.

Es wurden folgende Arbeiten bemessen:

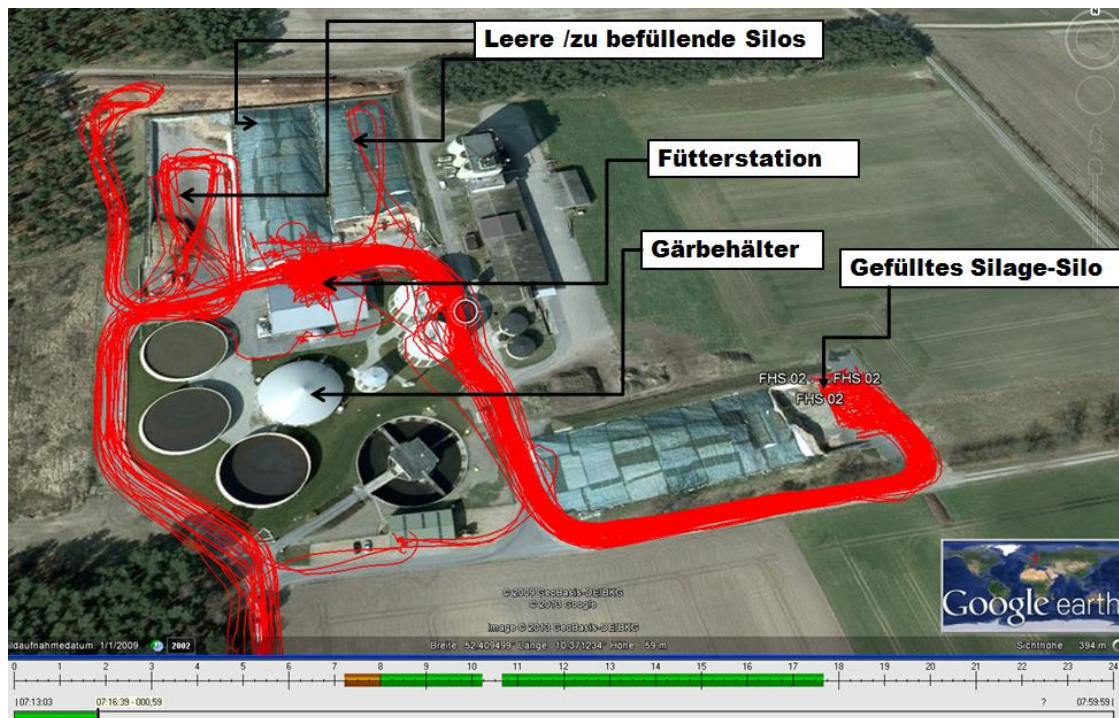
1. Das Befüttern einer Biogasanlage mit einem Radlader.
2. Der Transport von Biomasse von A nach B mit einem Traktor und angehängtem Wagen.
3. Das Pflügen eines Ackers mit einem Traktor und einem angebautem Pflug.

#### **4.1 Radladereinsatz**

Die erste Messung fand bei der Fütterung einer Biogasanlage statt. Unter der Fütterung ist hierbei das Auffüllen der Anlage mit der benötigten Biomasse zu verstehen. Die Fütterung fand mit Hilfe eines Radladers statt. Die Radlader/Schaufellader zählen zu den mobilen Arbeitsmaschinen und werden in der Landwirtschaft häufig für Verladearbeiten genutzt.

Bei der Fütterung einer Biogasanlage wird die in Silage- Silos luftdicht gelagerte Biomasse (Mais, Gras, Getreide etc.) in die typischen Gärbehälter einer solchen Anlage befördert, damit diese Masse ihre Gase freisetzen kann, um mit dessen Hilfe im Anschluss Strom erzeugen zu können. Aufgrund des hohen Bedarfs einer solchen Anlage an Biomasse ist es notwendig in direkter Nähe der Anlage Silage- Mieten/Silage- Silos zu positionieren, in der die Biomasse vor der Fütterung lagert. Diese Mieten befinden sich in der Regel direkt am Standort der Biogasanlage und überschreiten nur selten wenige hundert Meter an Entfernung.

In der angefügten Messung bestand die beförderte Biomasse aus gehäckseltem Mais. Die Entfernung, die je Fahrt der Fütterung zurückgelegt wurde, zählt schon zu den größeren Entfernungen. Eine Fütterung je Anlage geschieht in der Regel nicht seltener als einmal am Tag. Grund hierfür ist, dass die Masse bei ihrer Zwischenlagerung in Container o.Ä., ansonsten zu viel an Energie verlieren würde. Der Vorgang der Fütterung geschieht demnach mindestens einmal am Tag, kann im Gegenzug jedoch auch je nach Volumen der Behälter/Container für die Zwischenlagerung auch öfter durchgeführt werden. Bei der Messung wurde der komplette Tagesbedarf der Anlage in einem Vorgang transportiert. Abbildung 4- 1 zeigt die Biogasanlage an der die Messungen durchgeführt wurden.



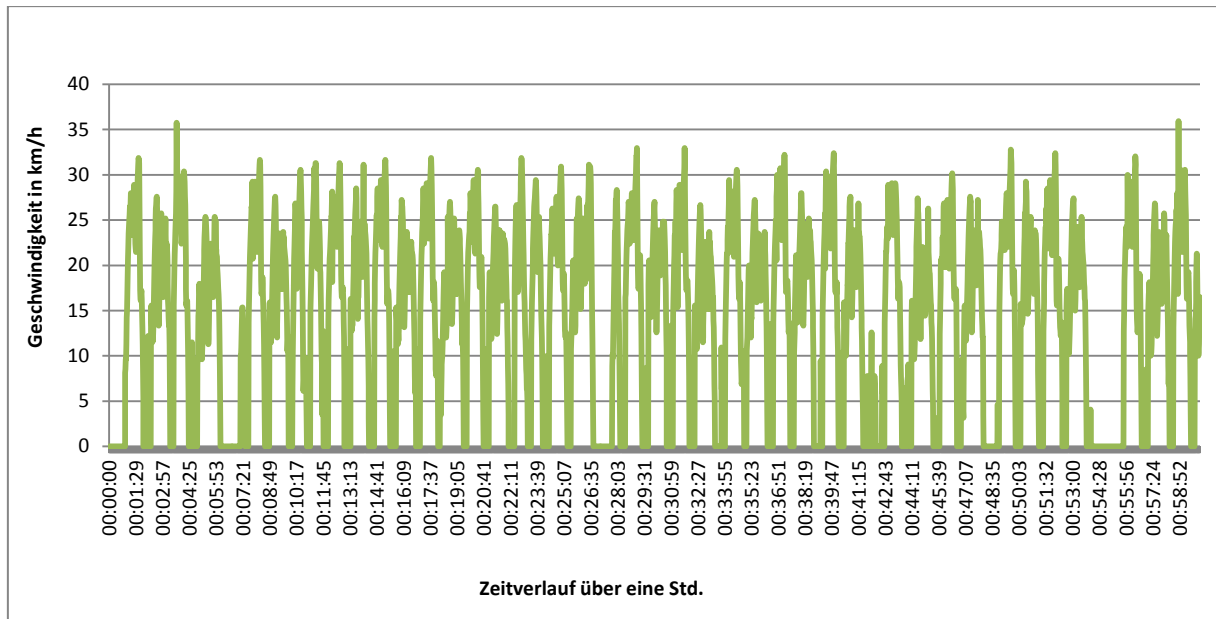
Quelle: [GPS- Messung]

Abbildung 4– 1: Luftbild der Biogasanlage inkl. GPS-Messung

Abb. 4- 1 zeigt eine ältere Luftbildaufnahme der Biogasanlage, an welcher ein Teil der Messungen durchgeführt wurden. Die Aufnahme wurde durch den Fahrtenverlauf der GPS- gestützten Messungen überlagert. Für die Fütterung der Anlage musste der Radlader die benötigte Biomasse aus einem noch gefüllten Silo aufnehmen und diese nach der Fahrt zu der Fütterstation in einen Behälter abkippen. Bei der Messung fuhr der Radlader das in der Abbildung als „Gefülltes Silage-Silo“ an und kippte die Biomasse in die ebenfalls gekennzeichnete „Fütterstation“. Die Häufigkeit dieses Vorgangs lässt die einzeln dargestellten Fahrten zu einem Strang überlagern. Die anderen abgebildeten Fahrten stammen aus einer weiteren Messung, die an gleichen Messungstag durchgeführt wurde. In der folgenden Abbildung 4- 2 ist der Geschwindigkeitsverlauf, der zu der eben beschriebenen Tätigkeit gehört dargestellt.

In dem gemessenen Zeitraum von drei Stunden erfolgte ein durchschnittlicher Fütterungsvorgang, je Tag. In dieser Zeit wurden in etwa 145 t Biomasse durch einen Radlader mit 130 kW bewegt.





Quelle: [eigene Darstellung]

Abbildung 4– 2: GPS-Auswertung des Geschwindigkeitsverlaufs

Die Abb. 4- 2 zeigt einen Ausschnitt einer zeitlichen Dauer von einer Stunde aus der Messung. Aus der Grafik ist bei genauer Betrachtung eine Periodendauer von ca. 2 Min. 45 Sek. zu erkennen. Die Periodendauer ergibt sich aus:

- dem Zeitpunkt des Aufladens der Biomasse im Silage- Silo,
- über die Fahrt zum Bestimmungsort,
- dem Abladen der Masse in die Anlage
- und der erneuten Fahrt zum Silage-Silo.

Eine Periode weist zwei Spitzenwerte der Geschwindigkeit auf, wobei diese beiden Werte an der gleichen Stelle der zu befahrenden Strecke auftraten. Ein Wert der in den meisten Fällen etwas höher ist zeigt die Spitzengeschwindigkeit der Leerfahrt zum Silo an, der andere Wert dementsprechend die Spitzengeschwindigkeit an selbiger Stelle auf dem Rückweg mit beladener Schaufel.

Der Kraftstoffverbrauch, der sich bei dieser typischen **täglichen Arbeit** ergeben hat, belief sich auf **47,31 l** Diesel. Die komplette Messdauer belief sich auf drei Stunden, in der das ganze Tagevolumen dieser Arbeit erfüllt wurde. Somit ergibt sich ein **Stundenverbrauch** von ungefähr **16 l** Diesel.

## 4.2 Traktoreinsatz als Transporter

Die zweite Messung fand mit einem Traktor ebenfalls im Umfeld der Arbeiten einer Biogasanlage statt. Bei dieser Arbeit fungierte der Traktor als Zugmaschine für einen angehängten Wagen, mit dessen Hilfe landwirtschaftliche Schüttgüter – teils auch andere – transportiert werden. Diese Arbeit fällt somit nicht nur bei dem Betreiben einer Biogasanlage an, sondern ist eine typische Methode, um landwirtschaftliche Güter zu transportieren. Der Vergleich zu dem Transport anderer Güter, während anderer Kampagnen, ist somit gegeben. Bei dieser Messung wurde ein Traktor mit 163 kW eingesetzt.

In den folgenden Abbildungen 4- 3 und 4- 4 ist der Geschwindigkeitsverlauf des Traktors der die Funktion eines Zulieferers/Transporters übernommen hat zu sehen. Der Zulieferer hat die Aufgabe die gehäckselte Biomasse mit einem angehängten Abschiebewagen vom Feld zum Bestimmungsort in das Silage- Silo zu transportieren.

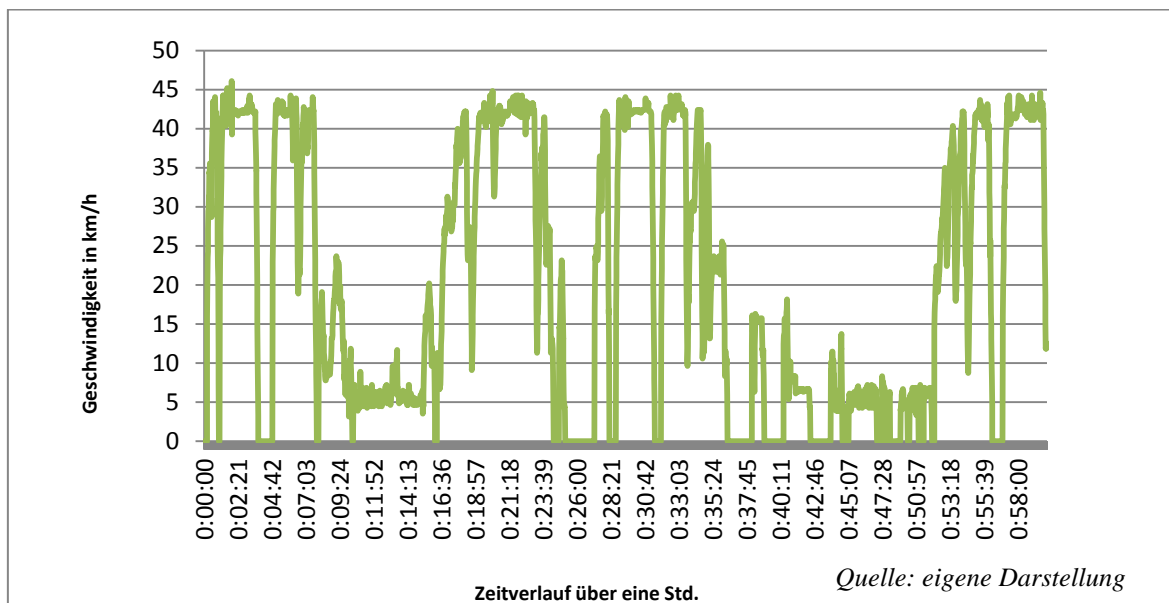
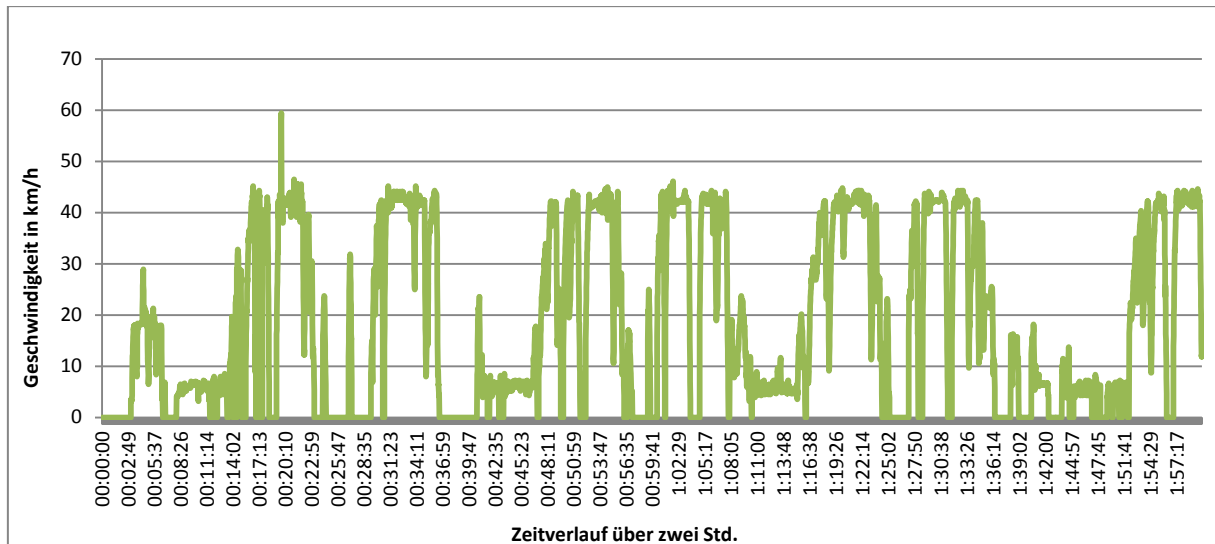


Abbildung 4– 3: GPS-Auswertung des Geschwindigkeitsverlaufs beim Zubringer

Abb. 4-3 stellt den Geschwindigkeitsverlauf über die Dauer von einer Stunde dar. In dieser Darstellung sind die Spitzen und Tiefen der Geschwindigkeit gut zu sehen.



*Quelle: eigene Darstellung*

**Abbildung 4– 4: GPS-Auswertung über zwei Stunden**

Abb. 4- 4 zeigt den Geschwindigkeitsverlauf über zwei Stunden auf. Hier ist die Abgrenzung der einzelnen Perioden deutlicher zu sehen, als in Abbildung 4-3.

Die Periodendauern ergeben sich hierbei durch:

- die Leerfahrt zum Acker auf dem gerade mit einem Maishäcksler die Biomasse gehäckselt wird,
- eine evtl. Wartedauer bis vorherige Fahrzeuge vollgeladen sind,
- dem Vorgang des Beladens der gleichzeitig während des Häcksels erfolgt
- der Rückfahrt zum Silage- Silo,
- und dem Abschieben der Ladung am Bestimmungsort was über die Hydraulik erfolgt.

Die aufgeführten Einzelschritte einer Periode erfolgten naturgemäß auf verschiedenen Untergründen. Die Untergründe reichen von einem relativ lockeren Boden auf dem Acker, über verschiedene Formen von befestigten Feldwegen bis zu betonierten Bodenplatten und asphaltierten Straßen.

Eine Periode mit ihren einzelnen Schritten nahm bei der durchgeführten Messung eine Dauer von ca. 30 Minuten an, die sich je nach Entfernung vom Silo zum Acker auch merklich ändern kann – bei der beschriebenen Messung befand sich der abzuerntende Acker in direkter Nähe zu den Silage- Silos. Durch eine ungefähre Dauer von einer halben Stunde lassen sich vier Perioden in Abb. 4- 3 und 4- 4 ablesen. Ein Anfang oder Ende einer

Periode lässt sich am besten bei dem Vorgang des Beladens ansehen. Dieser Vorgang nimmt im bemessenen Fall etwa eine Zeit von ca. vier Minuten ein und geschieht bei einer Geschwindigkeit von knapp 7 km/h, die durch die Parallelfahrt des Maishäckslers vorgegeben wird. Auch diese Zeit ist an Variable gebunden, die den Wert steigen oder sinken lassen können. Wichtige Aspekte sind hierbei:

- die Länge des Ackers und die dadurch verbundenen Wendevorgänge,
- Bodenbeschaffenheit, auch durch die Witterung
- und die Menge der auf dem Acker stehenden Biomasse.

Insbesondere der Ertrag eines Hektars an Biomasse beeinflusst die Geschwindigkeit mit der gehäckselt werden kann und dadurch folglich die Beladedauer des Zulieferers.

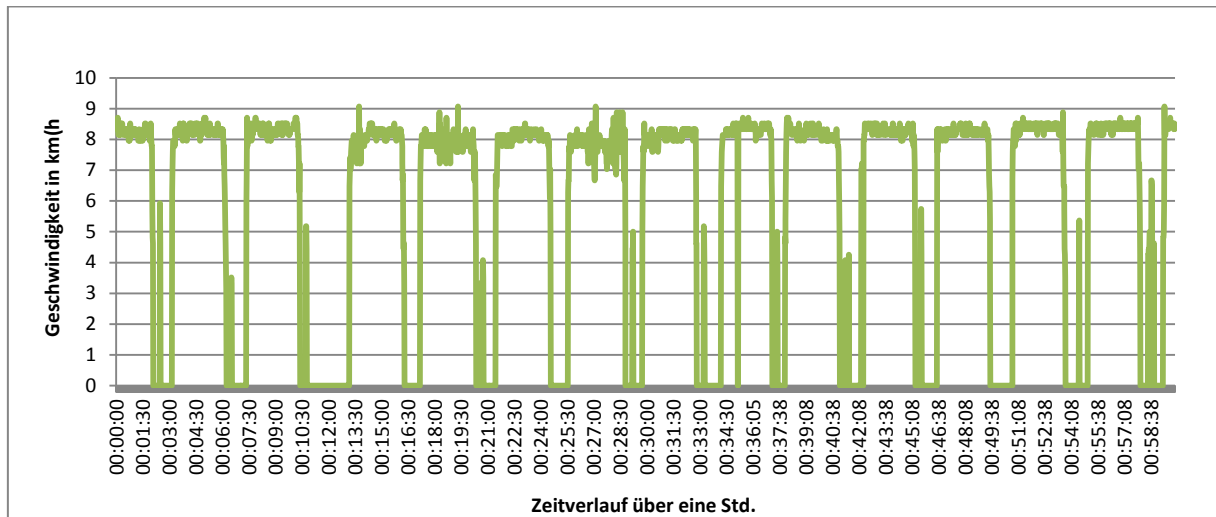
Die durchgeführte Messung erfolgte über einen Gesamtzeitraum von sieben Stunden. In dieser Zeit wurden insgesamt elf Be- und Endladevorgänge durchgeführt. Das mittlere Ladegewicht betrug hierbei 16,225 t. Das Leergewicht von Traktor und Abschiebewagen betrug 17,440 t. Der Kraftstoffverbrauch über die sieben Stunden belief sich auf 84,04 l Diesel (Traktor mit 163 kW).

Ein kompletter Arbeitstag für ein Zubringerfahrzeug dauert in dem ca. dreiwöchigen Kampagnenzeitraum der Maisernte von 06:00 Uhr bis 22:00 Uhr. In dieser Zeit werden die Traktoren und weitere Maschinen im Zweischichtbetrieb eingesetzt. Ruhezeiten während der Schichten gibt es lediglich durch kurze Wartezeiten beim Wechseln des Ackers oder durch den Fahrerwechsel – ausgenommen sind hierbei Reparaturzeiten. Durch den angesprochenen Zweischichtbetrieb ergibt sich eine Laufzeit von ca. 16 Stunden je Tag. Der verbrauchte Kraftstoff von ca. 84 l Diesel für sieben Stunden erhöht sich damit auf ein **Tagesvolumen** von rund **192 l** Diesel. Der Einsatz des Traktors für 16 Stunden am Tag, ist auch während anderer Kampagnen, wie Getreide und Rüben, keine Seltenheit. Ein Vergleich zu anderen Kampagnen kann, was die Einsatzzeit und die Art der Arbeit des Fahrzeugs betrifft, durchaus gezogen werden.

### 4.3 Traktor für die Bodenbearbeitung

Bei dem Traktor als Zugmaschine für Bodenbearbeitungsgeräte wird dem Fahrzeug zumeist ein Großteil seiner Leistung abverlangt. In dieser Messung wurde ein Traktor mit 180 kW eingesetzt. Der Traktor hatte die Aufgabe als Zugmaschine für den angebauten

Drehpflug zu fungieren. Der Pflug selber war mit 5 Scharen je Seite bestückt, wodurch eine ungefähre Arbeitsbreite von ca. 2,0 m erreicht wurde. In der Abbildung 4- 5 ist auch hierfür der Geschwindigkeitsverlauf dieser Arbeit zu sehen.



*Quelle: eigene Darstellung*

**Abbildung 4– 5: GPS-Auswertung des Geschwindigkeitsverlaufs beim Pflügen**

Die Abb. 4- 5 zeigt anhand des Geschwindigkeitsverlaufs deutlich die einzelnen und immer wiederkehrenden Perioden dieser – für den Traktor schweren – Arbeit. Die Periodendauer für den Vorgang des Pflügens nimmt in der obigen Grafik eine Zeit von etwa 4 Min. 30 Sek. ein. Die Periodendauer ergibt sich aus:

- dem Anfahren und Fahren mit abgesetztem Pflug,
- dem Ausfahren und Anheben des Pflugs,
- dem Wenden des Traktors auf dem Acker
- und dem Drehen des Pflugs um die eigene Achse durch die Hydraulik.

Da es bei Arbeiten auf dem Acker so gut wie keine Leerfahrten gibt, nimmt eine Periodendauer nur den Zeitraum von einem Ende des Ackers bis zum anderen ein. Im Fall des Pflügens werden Drehpflüge eingesetzt, bei denen die Schare der jeweiligen Seiten in verschiedene Richtungen zeigen. Dies ermöglicht es, den zu bearbeitenden Boden in dieselbe Richtung umzupflügen, auch wenn der Acker von verschiedenen Seiten angefahren wird. Im Fall des Pflügens werden dadurch Leerfahrten – in denen nicht geackert wird – minimiert. In Abbildung 4- 6 sieht man den Streckenverlauf, der bei der Messung entstand.



Abbildung 4– 6: Darstellung des Streckenverlaufs der GPS-Messung beim Pflügen

Quelle: [GPS-Messung]

In Abb. 4-6 ist neben den zwei eng beieinanderliegenden Flächen, die beackert wurden, auch der Fahrweg zwischen diesen beiden Feldern abgebildet. Durch den aufgezeichneten Weg zwischen den beiden Flächen wird deutlich, welche verhältnismäßig geringe Arbeitsbreite ein Pflug hat. Das Pflügen eines Ackers ist daher äußerst zeitaufwendig und geschieht, wie erwähnt, in der Regel unter Zuhilfenahme eines Großteils der Leistung, die ein Traktor aufbringen kann. Das Pflügen, aber auch andere Bodenbearbeitungsvorgänge sind daher sehr kraftstoffzehrend.

Die komplette Messung des Pflügens fand über einen Zeitraum von 7 Std. 21 Min. statt. In dieser Zeit wurden 193,1 l Diesel verbraucht und ziemlich genau zehn Hektar Land – verteilt auf zwei nah beieinanderliegende Felder – beackert. Die Messung fand jedoch nicht über den kompletten Arbeitstag statt, der die zehn Stunden bei solchen Arbeiten selten unterschreitet. Bei der Annahme eines **Zehn- Stunden- Einsatzes** des Traktors für diese Arbeit, ergibt sich ein ungefährender Kraftstoffverbrauch von **262 l** Diesel.

Bodenbearbeitungsvorgänge wie das Pflügen, Grubbern usw. werden im Anschluss von Erntekampagnen bzw. im Vorfeld von Bestellarbeiten durchgeführt, um den verdichteten Boden wieder aufzulockern und ihn für eine neue Ernte vorzubereiten. Wenn die

Wetterverhältnisse keine anderen Arbeiten zulassen, werden die Bodenbearbeitungsvorgänge – je nach zu beackender Fläche – über mehrere Tage am Stück durchgeführt, unterliegen aber längst nicht demselben Zeitdruck wie Erntearbeiten.

Die folgende Tabelle 4- 1 zeigt nochmals die wichtigsten Werte der Messungen im Überblick.

**Tabelle 4- 1: Übersicht der gemessenen Kraftstoffverbräuche**

Messung:	gemessene Zeit	verbrauchter Diesel in l	typischer Tageseinsatz	⇒ Tagesverbrauch in l
<b>Radlader</b>	3 Std.	47	3 Std.	47
<b>Traktor als Zubringer</b>	7 Std.	84	16 Std.	192
<b>Traktor als Zugmaschine für Pflug</b>	7 .33 Std.	193	10 Std.	262

*Quelle: eigene Darstellung*

#### **4.4 Anforderungs-/ Leistungsprofil der Fahrzeuge im Gebirge**

Wie in Kapitel 4.3 mehrfach erwähnt, ist das Pflügen sehr leistungs- und dadurch auch sehr kraftstoffintensiv. Die Wahl des Traktors bei seiner Anschaffung hängt somit im Punkto der zu wählenden Leistung explizit davon ab, wie groß die Bodenbearbeitungsgeräte sind, die der Traktor später ziehen soll. Zwar hat ein Betrieb in der Regel mehrere Traktoren mit verschiedenen Anforderungsprofilen und daher auch mit verschiedenen Leistungen, allerdings gibt es nicht für jede Arbeit nur einen Traktor. Insbesondere bei kleineren und mittleren Betrieben, die einen überschaubaren Fuhrpark haben, übernimmt ein Traktor eine Vielzahl von verschiedenen Arbeiten. Die Bodenbearbeitung – mit ihren Randbedingungen wie Bodenbeschaffenheit und Topographie – stellt oftmals den Bereich dar, der die meiste Leistung benötigt, und daher auch maßgeblich zu der Entscheidung der Traktorwahl beiträgt. In kleineren Betrieben gibt es daher oftmals einen Stall- und Hoftraktor der ggf. noch Pflegearbeiten ausführt und einen zweiten Traktor, der für die meisten Feldarbeiten und den Transport der Güter genutzt wird.

Die durchgeführten Messungen aus Kapitel 4.1 bis 4.3 fanden alle in der Ebene statt. Für die gleichen Arbeiten in bergigen Regionen ist zum Teil wesentlich mehr Leistung nötig. Sowohl die Topographie als aber auch das Wetter – welches sich auf die Befahrbarkeit des Bodens auswirkt – sind daher Faktoren, die sich auf den Leistungsbedarf und den Kraftstoffverbrauch eines Fahrzeugs auswirken. Angefügt ist eine Rechnung, die

verdeutlichen soll, wie sich der Leistungsbedarf und der damit einhergehende Kraftstoffverbrauch eines Traktors bei einer Arbeit im Gelände verändert.

Um die Zugleistung zu ermitteln, die ein Fahrzeug benötigt um sich und eine angehängte Maschine fortzubewegen, wird zunächst die hierfür benötigte Formel kurz dargestellt:

#### **Ermittlung der erforderlichen Zugleistung :**

$$P_z = G * (s + \varphi) * \frac{v}{360}$$

$P_z$  = erforderliche Zugleistung

$G$  = Gesamtgewicht

$s$  = Steigung

$\varphi$  = Rollwiderstandsbeiwert

$v$  = Geschwindigkeit

#### **Beispiel:**

Wie in Kapitel 2.5 angeführt, ist die Futtermittelgewinnung auf Grünland eine der häufigsten Formen der Landbewirtschaftung in gebirgigen Regionen. Für die Berechnung der reinen Zugkraft, die benötigt wird, nehmen wir den Vorgang des Pressens an. Hierbei nimmt eine vom Traktor gezogene und angetriebene Ballenpresse, das in einem sogenannten „Schwad“ zusammengetragene Gras auf, presst es zusammen und bindet es zu einem Ballen. Für das gewählte Beispiel wird ein Gesamtgewicht von **14 Tonnen** angenommen, wobei je sieben Tonnen auf den Traktor und auf die Pressen entfallen. Die Geschwindigkeit wird auf **10 km/h** festgelegt. Der **Rollwiderstand** ergibt sich aus der Bereifung und aus dem zu befahrenden Untergrund. Hierfür nehmen wir im Falle von Traktor und Grasnarbe einen Wert von **0,1** an. Der Wert der Steigung kann für dieses Beispiel je nach Ort verändert werden und ist somit frei zu wählen. Bei einer fiktiven **Steigung** von **15 %** ist ein Wert von **0,15** anzunehmen.



**Ermittlung der erforderlichen Zugleistung :**

$$P_z = G * (s + \varphi) * \frac{v}{360}$$

$$P_z = ?$$

$$G = 14 \text{ t} \rightarrow 14000 \text{ kg}$$

$$s = 0,15$$

$$\varphi = 0,1$$

$$V = 10 \text{ km/h}$$

$$\text{Bsp.1:} \quad P_z = 14000 * (0,15 + 0,1) * \frac{10}{360} = \underline{\underline{97,22 \text{ kW}}}$$

Rechnungsbeispiel 1 nimmt den fiktiven Steigungswert von 15% aus dem oben genannten Beispiel an. Um einen Vergleich zur Ebene zu erhalten, nimmt Rechnungsbeispiel 2 den Steigungswert von 0,00 % an, d.h. die Arbeit wird in der Ebene unter ansonst gleichen Bedingungen ausgeführt.

$$\text{Bsp.2:} \quad P_z = 14000 * (0,00 + 0,1) * \frac{10}{360} = \underline{\underline{38,89 \text{ kW}}}$$

Beim Vergleich der beiden Ergebnisse wird deutlich, dass der Leistungsbedarfs Fahrtriebs im Gebirge wesentlich höher ist.

Alle anderen Verbraucher (Technik zum: Aufsammeln, Zusammenpressen, Binden etc.) von Energie weisen im Gebirge wie in der Ebene die gleichen Verbräuche auf und werden zur besseren Übersicht nicht mit einberechnet – müssten aber bei dem kompletten Leistungsbedarf den diese Arbeit benötigt hinzugerechnet werden.

## 5 Auswertung der benötigten Energiemengen

In Kapitel 4 wurde durch verschiedene Messungen aufgezeigt, welche typischen Energiemengen eine mobile Arbeitsmaschine pro Tag benötigt bzw. welche Energiemengen ihr mindestens zur Verfügung stehen müssen, damit sie ihre Arbeiten einen Tag lang erfüllen kann, ohne nachzutanken. Dieses Kapitel soll nun aufzeigen, welche Auswirkungen diese Energiemengen auf Fahrzeuge der Elektromobilität haben.

### 5.1 Darstellung der einzelnen Energiedichten

Um darzustellen, welche Ausmaße eine Batterie annehmen würde, die die gewünschten Energiemengen aus Kapitel 4 bereitstellen kann, muss zunächst der Energiewert von Diesel auf eine Einheit umgerechnet werden, die mit der Energie einer Batterie zu vergleichen ist. Zusätzlich muss dargestellt werden, welche Energiedichte Akkumulatoren aufweisen.

#### 5.1.1 Energiedichte „Diesel“

Ein Liter Diesel nimmt je nach Dichte – die wiederum temperaturabhängig ist – durchschnittlich eine Masse von 0,84 kg an. Der Brennwert eines Kilogramms Diesel liegt bei ca. 45,4 Megajoule (MJ), wobei 3,6 MJ die Energiemenge von einer kWh darstellen. Für die Darstellung der Energiemenge von einem Liter Diesel in kWh ergibt sich daraus folgende Rechnung:

$$\begin{aligned}1\text{ l} &\approx 0,84\text{ kg} \\1\text{ kg} &\approx 45,4\text{ MJ} \\ \Rightarrow &45,4\text{ MJ/kg} * 0,84\text{ kg/l} \\ \text{Od.} & \\ \Rightarrow &\frac{45,4\text{ MJ}}{\text{kg}} * \frac{0,84\text{ kg}}{\text{l}} \\ &= \underline{\underline{38,14\text{ MJ/l}}}\end{aligned}$$

Ein Liter Diesel hat somit die Energiedichte von ca. 38,14 MJ. Um den Wert nun in kWh angeben zu können, ist dieser Wert nur noch doch 3,6 zu dividieren.

$$3,6 \text{ MJ} = 1 \text{ kWh}$$

$$1 \text{ MJ} \approx 2,78 \text{ kWh}$$

$$\Rightarrow \frac{38,14}{3,6}$$

od.

$$\frac{38,14 \frac{\text{MJ}}{\text{l}}}{1} \cdot \frac{1}{3,6 \frac{\text{MJ}}{\text{kWh}}}$$

$$= \underline{\underline{10,6 \text{ kWh/l}}}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{12,6 \text{ kWh/kg}}}$$

Aus den Rechnungen ist nun ersichtlich, welchen Brennwert Diesel aufweist. Für ein **Kilogramm** sind es **12,6 kWh** und für einen **Liter** sind es ca. **10,6 kWh**, bedingt durch die geringe Dichte des Diesels im Vergleich zu Wasser.

*Anmerkung:* Der Energiewert für Diesel wird häufig auch als Heizwert dargestellt. Der Brennwert liegt dabei in etwa 7% über dem Heizwert (Heizwert: 11,8 kWh/kg; 9,9 kWh/kg).

### 5.1.2 Energiedichte „Akkumulatoren“

Der Energiedichte von Diesel ist nun bekannt, allerdings sind die Angaben bezüglich der Energiedichte von geeigneten Batterien äußerst schwankend. Für besonders geeignet werden die Lithium- Ionen Batterien angesehen. An ihnen wird derzeit mit Hochdruck gearbeitet und sie bieten im Vergleich zu anderen Batterien trotz ihres hohen Preises auch heute schon die besten Voraussetzungen für den Einsatz in der Elektromobilität. Für die in den nächsten Kapiteln folgenden Rechnungen wird daher der Einsatz von Lithium- Ionen- Batterien angenommen. Allerdings ist zu sagen, dass es auch diese Batterien viele verschiedene Unterkategorien eingeteilt werden können, die sich zum Teil sogar erst in der

Frühphase ihrer Entwicklung befinden. Aus diesem Grund wird mit einem **Wertebereich** gerechnet, der am ehesten dem heutigen Stand der Batterietechnik entspricht. Eine zukünftige Abweichung der Wertebereiche durch den fortschreitenden Entwicklungsstand ist sicher gegeben und würde durch Schätzungen den bereits eingegrenzten und trotzdem noch großen Wertebereich nochmals deutlich vergrößern.

Da der Energiewert aus Batterien/Akkus relativ niedrig ist, wird er in der Einheit Wattstunden (Wh) und nicht in Kilowattstunden (kWh) angegeben. 1000 Wh entsprechen dabei einer kWh. Ein Wechsel der Einheiten ist deshalb zum Teil gegeben, um die Zahlen weder zu groß, noch zu klein werden zu lassen.

Für die kommenden Berechnungen wird der Wertebereich der Energiedichte von Akkumulatoren auf **140 Wh/kg bis zu 200 Wh/kg** eingegrenzt. Die Energiedichte ist in den meisten Fällen auf das Gewicht bezogen, um jedoch auch eine Aussage auf das Volumen bezogen geben zu können, muss auch hierfür ein Wertebereich festgelegt werden. Bei den Angaben des Verhältnisses von Masse zu Volumen gibt es ebenfalls verschiedene Aussagen. Um den Wertebereich hierfür nicht unnötig zu groß werden zu lassen, wird ein festes Verhältnis dieser beiden Werte angenommen. Bei kommenden Berechnungen wird daher der **Faktor 1,5** als Verhältnis von Gewicht zu Volumen bei den Akkus angenommen.

*Bsp.:* Eine Batterie mit einem Gewicht von **20 kg** hat einen Raumbedarf von **30 l**.

### **5.1.3 Brennstoffzelle**

In Kapitel 2.7 ist ein ungefähres Volumenverhältnis des Wasserstoffs – mit dem die Brennstoffzelle betrieben wird – im Vergleich zu Diesel abgebildet. Ein Expertengespräch mit Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Herlitzius (Fakultät Maschinenwesen, Institut für Verarbeitungsmaschinen und Mobile Arbeitsmaschinen, Lehrstuhl Agrarsystemtechnik, TU Dresden) hat allerdings deutlich gemacht, dass die Technik der Brennstoffzelle für den Einsatz in der Landwirtschaft noch in weiter Ferne liegt. Ein denkbarer Einsatz dieser Technik liegt laut Herrn Herlitzius noch hinter einem Zehnjahreshorizont. Bei den kommenden Berechnungen wird die Brennstoffzellentechnik daher ausgeklammert und erst in späteren Kapiteln wieder aufgegriffen.

## 5.2 Rechnungen

Um nun gegenüberzustellen, welche Masse, welches Energieträgers benötigt wird müssen zuvor jedoch die Wirkungsgrade der verschiedenen Antriebssysteme ermittelt werden. Dies geschieht nun anhand einer Wirkungsgradkette, in der die einzelnen Schritte von der Bereitstellung der Energie bis zur Fortbewegung des Fahrzeugs mit ihren einzelnen Wirkungsgraden aufgezeigt werden.

### 5.2.1 Wirkungsgradketten

Die Werte mit denen gerechnet wird, beziehen sich auf moderne Traktoren, in denen die in Kapitel 2.3.2 beschriebenen stufenlosen Getriebe (CVT- Getriebe) verbaut sind, und stammen zum Teil ebenfalls von Herrn Herlitzius.

*Anmerkung:* Beim Dieselmotor wird in der Folge der Wirkungsgrad auf den Brennwert des Kraftstoffs bezogen, wodurch er etwas niedriger ist, als bei einer Berechnung auf den Heizwert. Das Endergebnis des Wirkungsgrades für den Motor bleibt jedoch gleich.

In der Folge soll der Wirkungsgrad ( $\eta$ ) des Antriebsstranges vom Zeitpunkt der Bereitstellung des Kraftstoffs bis zu dem Zeitpunkt des Fahrens dargestellt werden. Andere Verbraucher werden aus dieser Rechnung zunächst ausgeklammert. Die Kette mit ihren einzelnen Komponenten und deren ungefähren Wirkungsgraden ( $\alpha$ ) wird nun stichpunktartig dargestellt:

#### **System Dieselmotor:**

- Dieselmotor ca. 35%                       $\alpha = 0,35$
- CVT- Getriebe ca. 88%                 $\alpha = 0,88$

#### **Batterieelektrisches System:**

- Leistungselektronik der Batterien ca. 95%                       $\alpha = 0,95$
- Elektromotor ca.90%     $\alpha = 0,90$
- Reduzierungsgetriebe ca. 95%     $\alpha = 0,95$

Anhand dieser Werte können nun zwei Fahrtriebe unterschiedlicher Technologien miteinander verglichen werden. Durch die Multiplikation der einzelnen Werte mit den 100 % der bereitgestellten Energie erhält man nun den Wirkungsgrad des Fahrtriebs – bei der Annahme keiner anderen Verbraucher. Für den Fall des Antriebs durch einen Dieselmotor, werden 100 % des Brennerts von Diesel angenommen. Im Falle des batterieelektrischen Systems (mit Elektromotor) werden 100% der geladen kWh angenommen.

**Bsp. Fzg. mit Dieselmotor:**

$$\eta = 100 \% * 0,35 * 0,88 = 30,8 \%$$

Für eine Fahrzeug mit Dieselmotor und einem CVT- Getriebe ergibt sich somit ein Wirkungsgrad von ungefähr **31%**.

**Bsp. BEV:**

$$\eta = 100\% * 0,95 * 0,90 + 0,95 = 81,23\%$$

Für den Fahrtrieb eines batteriebetriebenen Elektrofahrzeugs inkl. Getriebe, ergibt sich ein Wirkungsgrad von ungefähr **81 %**.

### **5.2.2 Umrechnung auf elektrisches System**

In diesem Kapitel wird nun verglichen, welche Menge an Energie nötig ist, um die durchgeführten Arbeiten aus Kapitel 3 unter Einsatz von batterieelektrischen Fahrzeugen durchzuführen. Die beiden Traktoren und der Radlader aus den Messungen waren jeweils mit CVT- Getrieben ausgestattet, wodurch die Wirkungsgradkette aus Kapitel 5.2.2 angenommen werden kann. Bei den Rechnungen wird nach dem Motor nur noch das Getriebe als Verbraucher eingerechnet. Die Zahlen sind nicht zu 100 % auf alle anderen Arbeiten zu übertragen. Dadurch, dass bei den Arbeiten keine Erntemaschinen o.Ä. angehängt waren – dessen Funktionen ggf. ebenfalls elektrisiert werden können – drücken die Zahlen dennoch ein relativ gutes Ergebnis aus. Die folgenden Tabellen 5- 1 und 5- 2 zeigen nun die unterschiedlichen Werte der verschiedenen Techniken.

Tabelle 5- 1: System mit Dieselmotor

Messungen	Dauer	Diesel in l	Diesel in kg	Bedarf: Diesel in kWh	$\eta$ (31%) in kWh od. umgesetzte Energie
Radlader	3 Std.	47	39,5	497,7	154,29
Zubringer	16 Std.	192	161	2028,6	628,87
Bodenbearbeitung	10 Std.	262	220	2772	859,32

Tabelle 5- 1 zeigt die gemessenen Ergebnisse aus Kapitel 3, rechnet diese Verbräuche an Diesel in kWh um und zeigt auf, welche Menge an Energie für die gewünschte Arbeit durch das System genutzt wurde.

Tabelle 5- 2: Batterieelektrisches System

Messungen	Dauer	Energiebedarf in kWh bei $\eta = 100\%$	Energiebedarf E-Motoren in kWh bei $\eta = 81\%$
Radlader	3 Std.	154,29	<b>190,48</b>
Zubringer	16 Std.	628,87	<b>776,38</b>
Bodenbearbeitung	10 Std.	859,32	<b>1060,89</b>

In Tabelle 5- 2 wurden die Werte für „umgesetzte Energie“ (Leistung) in die gewünschte Arbeit angenommen und als benötigte Energie für ein System mit einem fiktiven Wirkungsgrad ( $\eta$ ) 100 % dargestellt. Hierdurch konnte mittels einfacher Prozentrechnung ermittelt werden, welche Energiemengen ein batterieelektrisches System für die Erfüllung der gleichen Arbeit bereitstellen muss, ohne zwischendurch aufgetankt/aufgeladen werden zu müssen. Diese Zahlen zeigen, dass das System des **Dieselmotors** einen Energiebedarf hat, der ungefähr um den **Faktor 2,6 höher** ist, als es bei einem **batterieelektrischen** System der Fall wäre. Diese Zahlen sprechen auf den ersten Blick für ein batterieelektrisches System. Die benötigten Akkumulatoren haben allerdings, wie in Abb.2- 2 bereits dargestellt, eine wesentlich schlechtere Energiedichte, als es Diesel hat. Das folgende Kapitel stellt nun dar, welche Ausmaße die Akkumulatoren einnehmen müssten, um den errechneten Energiebedarfen aus Tab. 5- 2 gerecht zu werden.

### 5.2.3 Ausmaße Batterien

Zur besseren Übersicht werden noch einmal die wichtigsten Daten des batterieelektrischen Systems dargelegt:

- Energiedichte:  $140 - 200 \text{ Wh/kg} = 0,14 - 0,20 \text{ kWh/kg}$
- Verhältnis Masse/Volumen: Faktor 1,5 ( $20\text{kg} = 30\text{l}$ )
- Energiebedarf im Vergleich zum System mit Dieselmotor =  $1/2,6$  (Das System mit Dieselmotor hat einen Energiebedarf, der um den Faktor 2,6 höher ist)

Die Darstellung der Ausmaße, die die Akkumulatoren annehmen würden, erfolgt wieder mit Rückbezug auf die in Kapitel 3 gemessenen Energiebedarfe der Fahrzeuge. Die folgende Tabelle 5- 3 nimmt daher die in Tabelle 5- 2 errechneten Bedarfe eines batterieelektrischen Systems an, um den energetischen Tagesbedarf der Fahrzeuge zu gewährleisten.

**Tabelle 5- 3: Ausmaße der Akkumulatoren**

Messungen	Dauer	Bedarf E-Motor in kWh bei $\eta = 81\%$	Bedarf in Wh (kWh*1000)	Annahme 200 Wh/kg		Annahme 140 Wh/kg	
				kg	l	kg	l
Radlader	3 Std.	190,48	190478	952	1429	1361	2041
Zubringer	16 Std.	776,38	776378	3882	5823	5546	8318
Bodenbearbeitung	10 Std.	1060,89	1060889	5304	7957	7578	11367

*Quelle: eigene Darstellung*

Die Tabelle 5- 3 gibt nun Aufschluss darüber, welche Maße allein die Akkumulatoren für diese Arbeitsmaschinen annehmen würden. Die letzten, dunkel hinterlegten Spalten die nochmals nach Kilogramm und Liter unterteilt sind, zeigen den Idealfall und den schlechtesten Fall von dem zuvor definierten Wertebereich der Energiedichte an. Trotz des zuvor aufgezeigten guten Wirkungsgrades des elektrischen Systems zeigt die Tabelle sehr große theoretische Ausmaße auf. Die Werte gehen von, im Idealfall knapp einer Tonne Gewicht und einem Volumen von an die  $1,5\text{m}^3$  für einen Radlader im Dreistundeneinsatz bis zu einem Gewicht von 7,5t und einem Volumen von über  $11\text{m}^3$  für einen Traktor bei der Bodenbearbeitung. Aus diesen Zahlen ist klar ersichtlich, dass dieses System für größere Fahrzeuge im permanenten Tagesbetrieb nicht geeignet ist.



### 5.3 Eingrenzung der Möglichkeiten

Um herauszufinden bis zu welchem Verbrauch ein Einsatz des batterieelektrischen Systems möglicherweise doch möglich ist, müssen Obergrenzen für Volumen und Gewicht festgelegt werden. Der Verbrauch eines Fahrzeugs richtet sich in erster Linie nach seiner Motorleistung. Bei der Annahme, dass die Fahrzeuge einen Großteil ihrer Leistung während ihres Einsatzes abrufen, kann anhand von Leistung und Einsatzzeit eine Grafik erstellt werden, welche Ausmaße die Akkus bei einem Fahrzeug annehmen würden. In folgender Abbildung 5- 1 wird ein Fahrzeug mit einer Motorleistung von 20 kW simuliert. Unter der Annahme, dass das Fahrzeug über die eingesetzte Zeit durchschnittlich 80% seiner Leistung nutzt, können die Maße von Gewicht und Volumen durch den angenommenen Wertebereich von 140 Wh/kg bis zu 200 Wh/kg dargestellt werden.

Vorab noch zwei Beispiele, die verdeutlichen sollen wie sich die Leistung bzw. die benötigte Leistung eines Fahrzeugs auf den Verbrauch an Energie auswirkt.

Bsp. 1:

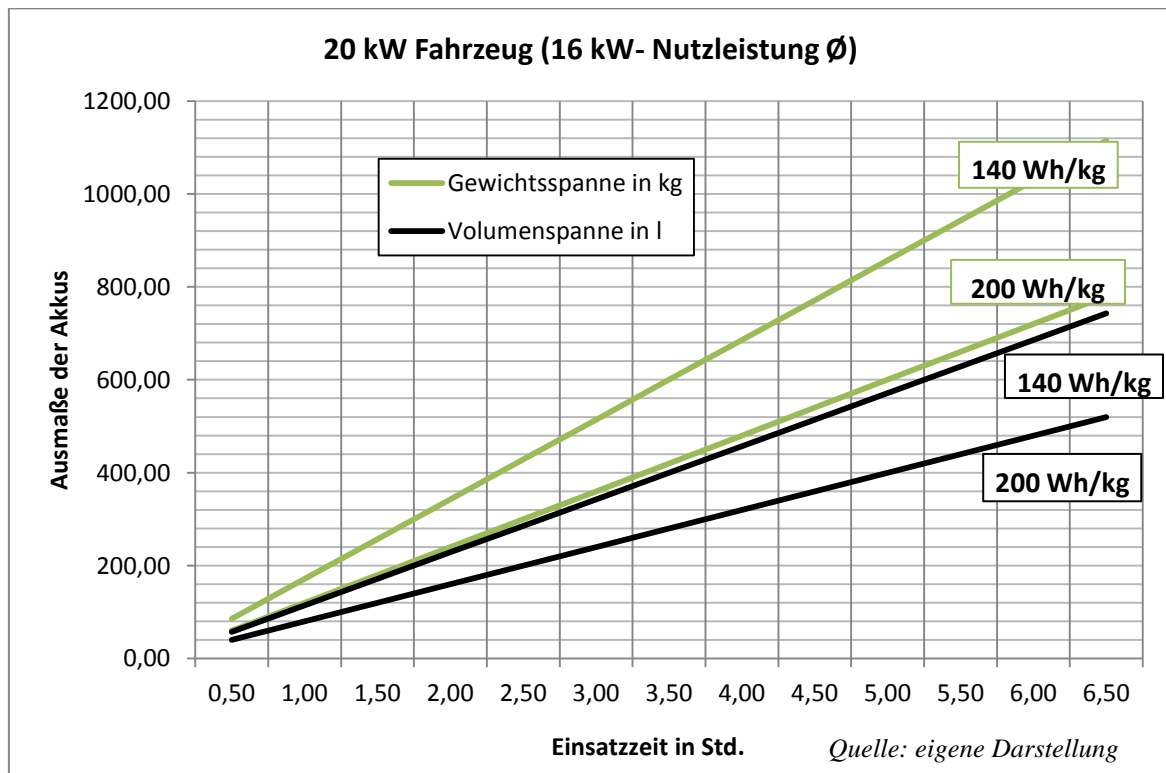
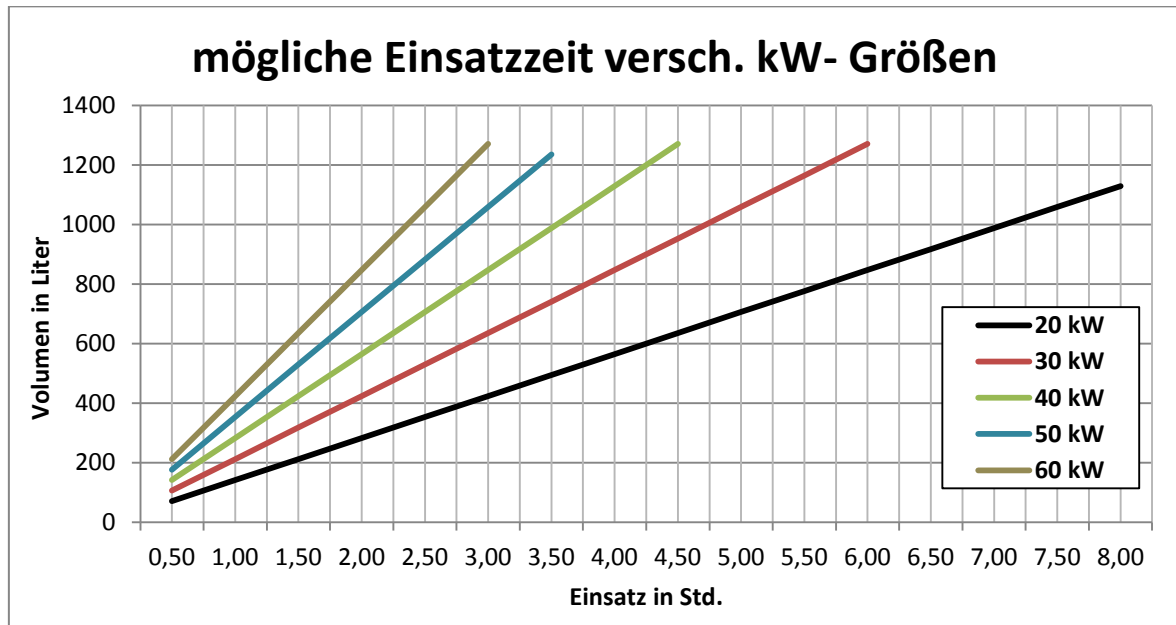


Abbildung 5– 1: Mögl. Einsatzdauer eines 20 kW- Fahrzeugs unter Batterieeinsatz

Abbildung 5- 1 zeigt die theoretischen Ausmaße eines Fahrzeuges mit 20 kW. Bei der Darstellung wurden eine durchschnittliche 80 %- Nutzung der Leistung über die Zeit und der errechnete Wirkungsgrad von 81 % angenommen.

Bsp.2:



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 5– 2: Entwicklung der Einsatzzeiten nach Energiebedarf

Abbildung 5- 2 zeigt die möglichen Einsatzzeiten und das daraus resultierende Volumen der Akkumulatoren von mobilen Arbeitsmaschinen bei Nutzung des BEV- Systems. Bei der Darstellung wurden eine Energiedichte von 170 Wh/kg und wieder der errechnete Wirkungsgrad angenommen. Dieser Wert der Energiedichte liegt direkt in der Mitte des in den Rechnungen zuvor verwendeten Wertebereichs von 140 Wh/kg bis 200 Wh/kg.

Die nun gewonnenen Werte und Grafiken zeigen deutlich, dass der Einsatz von BEVs ab einer gewissen Größe nicht mehr machbar ist. Die Akkumulatoren nehmen mit ansteigendem Leistungsbedarf und vor allem mit wachsendem Anspruch an die Einsatzzeit unverhältnismäßig an Volumen und Gewicht zu.

## 6 Kostenanalyse

Um eine Analyse der zu erwartenden den Kosten durchzuführen, müssen zuerst alle Komponenten aufgeführt werden die bei dem Einsatz von BEV eine Rolle spielen. Betriebe aus der Landwirtschaft haben aufgrund ihres hohen Kraftstoffverbrauchs in der Regel eigene Tankstellen auf dem Betriebsgelände. Aus diesem Grund wird für die folgenden Berechnungen die Installation einer Tankstelle als Kostenfaktor mit einbezogen. Die Tankstelle/Ladesäule kann je nach Nutzeranforderungen Werte von einigen hundert Euro bis zu weit über 10.000 € annehmen.

Die zur Rechnung verwendeten Daten stammen aus verschiedensten Büchern, Experteninterviews und eigener Internetrecherche. Eine Abweichung der Werte mit Weiterschreiten der Zeit ist naturgemäß gegeben. Zu den einzelnen Positionen – der größten Kostenpunkte bei dem Einsatz von BEVs – zählen:

- Installation einer geeigneten Ladestelle (von ca. 300 € bis ...)
- Anschaffung Fahrzeug (Diesel-Fzg.+ ca. 25%)
- Kosten Batterien/Akkumulatoren (z.Z.ca. 500 €/kWh)
- Energiekosten:
  - Annahme a= normaler Strompreis (ca. 26 Cent/kWh)
  - Annahme b= industrieller Strompreis (ca. 15 Cent/kWh)

Weitere Punkte wie Hilfsstoffe, Wartung, Steuern, zusätzliche Heizung etc. bei BEVs werden in der Rechnung nicht betrachtet, da sie diese zu unübersichtlich erscheinen ließen und sich des Weiteren zum Teil gegeneinander aufheben. Aus den bisherigen Erkenntnissen ist deutlich geworden, dass der Einsatz von BEVs im Sektor der mobilen Arbeitsmaschinen nur für kleinere Fahrzeuge mit geringer Motorleistung und/oder kurzen Einsatzintervallen Sinn ergeben kann, um die Akkumulatoren bezüglich ihrer Größe in einem angemessenen Verhältnis zum Fahrzeug halten zu können. Für die folgenden Berechnungsbeispiele wurde daher ein Traktor der kleineren Kategorie (Kompakttraktor) gewählt, der oft als Stall- und Hoftraktor zum Einsatz kommt. Die Zahlen des Berechnungsbeispiels liegen alle im Mittelpunkt eines Wertebereichs und stellen sich dadurch wie folgt dar:

- Tankstelle inkl. Installation : 5.000 €
- Traktorpreis (30 kW Motor) :  $40.000 \text{ €} + 25 \% = 50.000 \text{ €}$
- Akkus [70 kWh Speicher]:  $50 * 500 \text{ €} = 25.000 \text{ €}$
- Energiekosten für 5 Jahre ca.:
  - Annahme a 26 Cent/kWh
  - Annahme b 15 Cent/kWh

Für den nun folgenden Kostenvergleich eines Traktors mit batterieelektrischem System und einem Traktor mit dem konventionellen Dieselmotor wurde, wie bereits erwähnt, ein 30 kW- Motor ausgewählt. Der gewählte Preis für den Traktor ist den Zahlen eines Traktorenherstellers entnommen. Diese Preise für Traktoren sind simultan zur Automobilindustrie an Hersteller und Ausstattung gebunden. Aus den verwandten Preisstrukturen der Fahrzeuge wurden ebenfalls die Mehrkosten von 25 %, eines im Vergleich zu einem Fahrzeug mit Dieselmotor, angenommen. Der Wert ist daher kein Basiswert für einen Traktor mit ca. 30 kW, spiegelt die Realität dennoch realistisch wieder. Die gewählte Größe des Energiespeichers (der Akkumulatoren) ist hingegen ein fiktiver Wert. Dieser Wert (50 kWh) ist allerdings so ausgerichtet, dass der Traktor durch den Einbau eines Akkus (ca. 400 l Volumen) – anstelle eines Tanks – nicht unverhältnismäßig groß werden würde.

Die Tabellen 6-1 bis 6-3 zeigen einen Kostenvergleich zwei verschiedener Systeme (BEV und Diesel), und gehen von einem Vergleich über 5 Jahre aus.

*Anmerkung:* Für den Fall des konventionellen Dieselantriebs wurde eine bereits abgeschriebene, betriebseigene Tankstelle vorausgesetzt, sodass diese nicht mit in die Berechnung einbezogen wird.

Tabelle 6- 1: Aktueller Stand der Technik/Preise

Szenario 1: heutiger Stand der E-Mobilität			
Kosten	Diesel in € (1,30 €/l)	BEV in €	
Fahrzeug	40.000	50.000	
Speicher (50 kWh)	0	25.000	
Tankstelle	0	5.000	
Energiekosten f. 5 Jahre (ca. 15.000 l)	19.500	Fall a: 26 Cent 18900	Fall b: 15 Cent 10.903
Σ=	59.500	98.900	90.903

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 6- 2: Mögliche Preisentwicklungen zu Gunsten der Elektromobilität

Szenario 2: zu Gunsten der E-Mobilität			
Kosten	Diesel in € (1,60 €/l)	BEV in €	
Fahrzeug	40.000	40.000	
Speicher (70 kWh)	0	15.000	
Tankstelle	0	1.000	
Energiekosten f. 5 Jahre (ca. 15.000 l)	24.000	Fall a: 22 Cent 15.992	Fall b: 12 Cent 8.723
Σ=	64.000	71.992	64.723

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 6- 3: Mögliche Preisentwicklungen zu Ungunsten der Elektromobilität

Szenario 3: zu Ungunsten der E-Mobilität			
Kosten	Diesel in € (1,30 €/l)	BEV in €	
Fahrzeug	40.000	50.000	
Speicher (70 kWh)	0	25.000	
Tankstelle	0	10.000	
Energiekosten f. 5 Jahre (ca. 15.000 l)	19.500	Fall a: 24 Cent 17.446	Fall b: 29 Cent 21.080
Σ=	59.500	102.446	106.080

Quelle: eigene Darstellung

Aus den verschiedenen Szenarien wird ersichtlich, dass das System des BEV aus wirtschaftlicher Sicht nur in einem Fall an den konventionellen Antrieb ran reicht. Bei einem, wie im Beispiel festgelegtem 5- Jahresverbrauch von 15.000 l Diesel (BEV: umgerechnet auf kWh, nach Wirkungsgrad) weißt nur das Szenario 2 – mit den optimalen Preisentwicklungen aus Sicht der Elektromobilität – einen ähnlichen Gesamtkostenwert auf. Ein Fünffjahreseinsatz kann bei den angenommenen Werten/Entwicklungen als der Punkt festgelegt werden, ab dem sich das BEV wirtschaftlich rechnet. Allerdings haben die

Batterien eine begrenzte Lebensdauer, die je nach Batteriesystem auch abhängig von der Häufigkeit der Ladezyklen ist.

*Anmerkung:* In den genannten Szenarien wurde keine Selbstentladung der Batterien miteinberechnet.

Die Prüfung, ob sich ein Fahrzeug als batterieelektrisches Modell lohnt, hängt somit von folgenden Faktoren:

- Preis des Fahrzeugs
- Preis des Akkumulators (inkl. Lebensdauer)
- Zu erwartender Verbrauch an kWh
  - Die Kosten des Verbrauchs sind an den **Strompreis** gebunden
- Kosten für die Ladestation
  - Die Kosten können ggf. auf mehrere Fahrzeuge aufgeteilt werden

Diese aufgeführten Werte müssen schließlich mit den Werten eines Diesel- Fahrzeugs verglichen werden. Des Weiteren müssen auch kleinere Positionen (Steuern, Wartung, Hilfsstoffe etc.) und ggf. ein zu erwartender Wiederverkaufswert mit in die Rechnung einfließen, um ein für den Einzelfall aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten.

## 7 Empfehlung/ ideale Rahmenbedingungen

Um zusammenfassend eine Empfehlung für/gegen einen Einsatz von reinen Elektrofahrzeugen geben zu können, werden sowohl die gewonnen Erkenntnisse aus der bisherigen Arbeit, als auch Informationen aus dem mit Herrn Herlitzius geführten Experteninterview und weiterer E- Mail- Kontakte mit in die Beurteilung einfließen.

*Anmerkung:* Die Empfehlungen müssen alle im Einzelfall des Betriebs nach den vorherrschenden Gegebenheiten auf Umsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit geprüft werden. Hierbei ist auch der begleitende Fuhr-/ Maschinenpark mit seiner technischen Ausstattung mit einzubeziehen.

Der errechnete Wirkungsgradvorteil (um Faktor 2,6) von BEVs zu dieselbetriebenen Fahrzeugen wiegt den gleichzeitigen Nachteil in der derzeitigen Energiedichte der Batterien (140 Wh/kg bis 200 Wh/kg) in keiner Weise auf. Das hierdurch resultierende Verhältnis der Leistungsdichte, ist bei einem herkömmlichen dieselbetriebenen Fahrzeug somit um den Faktor 25 - 35 besser als bei einem BEV. Bei schlechteren Batterien stellt sich das Verhältnis aus Sicht der BEVs noch wesentlich schlechter dar. Dennoch ist ein Einsatz dieser Fahrzeuge aus technischer Sicht in bestimmten Nischen möglich.

Zu Beginn der Arbeit wurden in Kapitel 2 verschiedene landwirtschaftliche Güter aufgeführt. Auch die Art ihrer Erzeugung wurde zum Teil kurz aufgegriffen. Der Pflanzenbau mit seinen flächendeckenden Produkten (Getreide, Zuckerrüben, Mais etc.) nimmt dabei einen Bereich ein, in dem ein Einsatz weniger Sinn macht. Vielmehr sind Sonderkulturen und vor allem die Produktion tierischer Güter ein mögliches Einsatzgebiet. Der Weinbau stellt beispielweise ein Gebiet dar, in welchem Traktoren und Selbstfahrer mit relativ geringer Leistung benötigt werden. Die Gegebenheiten eines Weinbergs/Weingartens erfordern kleine und wendige Fahrzeuge. Durch mögliche Einzelradmotoren bieten BEVs einen kleinen Vorteil bei der Wendigkeit. Die Topographie, in der Weinbau zum Teil betrieben wird, lässt allerdings den Energiebedarf der Fahrzeuge – trotz möglicher Rückspeisung der Energie – ansteigen. An dieser Stelle bedarf es einer gezielten Prüfung des Bedarfs.

Ein Gebiet, in dem der Energiebedarf etwas unproblematischer ist, zeigt die Tierhaltung auf. Bei der Erzeugung tierischer Produkte werden von vielen Betrieben Kompakttraktoren

eingesetzt. Diese Fahrzeuge werden sowohl auf dem Betriebsgelände als auch im Stall eingesetzt. Die Einsatzzeit bei den typischen Arbeiten (Misten, Füttern etc.) nimmt in der Regel nur wenige Stunden ein, wodurch der Energiebedarf durch die Akkumulatoren gedeckt werden kann. Falls die Akkuleistung im Einzelfall nicht ausreicht, ist durch die Tatsache, dass die Arbeiten auf dem Betriebsgelände (am Standort einer Energiequelle) durchgeführt werden, ein Aufladen der Fahrzeuge (einfacher) möglich. Ein besonderer Vorteil ergibt sich in diesem Fall durch den Wegfall der CO<sub>2</sub>-Emissionen am Einsatzort. Für Betriebe, die Bio- und/oder besonders CO<sub>2</sub>- arme Produkte anbieten, kann der Einsatz von BEVs trotz fehlender Wirtschaftlichkeit sinnvoll sein, um mit dem Einsatz dieser Fahrzeuge zu werben.

In diese Nische fallen auch andere Fahrzeuge, wie der betriebliche PKW. Falls eine betriebseigene Ladesäule zum schnelleren Laden gewünscht/erforderlich ist, sollte eine gleichzeitige Elektrifizierung anderer Fahrzeuge in Betracht gezogen werden. Der betriebliche PKW, der lediglich zu Marktfahrten, Fahrten zur Besichtigung der Felder u.Ä. (kurze Fahrten) genutzt wird, könnte zusammen mit anderen Fahrzeugen (Gabelstapler, Kompakttraktor, E-Bike) die Investitionskosten für eine eigene Ladesäule auf mehrere Fahrzeuge entfallen lassen. Auch in diesem Fall könnte mit einer guten CO<sub>2</sub>- Bilanz geworben werden, was zu einem besonders guten Image des Betriebs führen könnte. Vorteile ergäben sich hier im Fall von Betrieben, die ihre Produkte direkt (auf dem Markt, Holfladen etc.) an den Endverbraucher verkaufen. Auch Betriebe mit eigenen Ferienwohnungen o.Ä. fallen in diese Nische. Für diese Bereiche ergäbe sich wahrscheinlich nur in Einzelfällen ein direkter wirtschaftlicher Nutzen der Fahrzeuge, jedoch sollten Vorteile bei dem Anbieten der eigenen Produkte mitbedacht werden.

Viele landwirtschaftliche Betriebe produzieren im Nebengewerbe Strom aus erneuerbaren Energien (Solar-, Wind-, Wasser-, Bioenergie). Diese Betriebe sollten insbesondere die Einspeisung ihres eigens produzierten Stroms, in dem Fall prüfen, wenn ein Einsatz von BEVs technisch möglich ist. Eine Wirtschaftlichkeit der Fahrzeuge könnte in diesen Fällen bereits früher als bei anderen Betrieben eintreten.

Der wirtschaftliche Nutzen wird in den meisten Fällen dieser Nischen nicht gegeben sein. Dennoch sollten die technischen und auch die preislichen Entwicklungen, die dieses Thema betreffen, weiter beobachtet werden. Eine Weiterentwicklung der Energiedichte um den Faktor (x) lässt ein mögliches Einsatzgebiet ebenfalls um diesen Faktor anwachsen.



Auch die preislichen Entwicklungen der technischen Komponenten (Fahrzeug, Batterie, Ladestelle) in Verbindung mit den Energiepreisen (Diesel, Strom) werden sich nach der Energiewende zu Gunsten der BEVs verändern. Das Ausmaß dieser Veränderungen kann in gewissen Bereichen zu einer Wirtschaftlichkeit dieser Technik verändern. Diese Modulationen erfordern zum gegebenen Zeitpunkt eine neuerliche Prüfung der Einsatzbereiche und ihrer Wirtschaftlichkeit.

## 8 Zusammenfassung

Die vorliegende Bachelorarbeit hat den Auftrag, das Potential der Elektromobilität in dem Sektor der Landwirtschaft zu prüfen. Grund für diese Prüfung ist, das parallel in der PKW-Branche stattfindende Umdenken in der Antriebstechnologie und die sich gleichzeitig in Deutschland einstellende Energiewende. Die reinen Elektrofahrzeuge und insbesondere die batterieelektrischen Fahrzeuge bilden den Hauptbereich des untersuchten Gebietes.

Nachdem zu Beginn, der Grundkonsens und die Vorgehensweise dieser wissenschaftlichen Arbeit erläutert wurden, wurde im Anschluss elementare Grundkenntnisse zu den beiden Sektoren, die es zu untersuchen galt, verschafft. Dabei wurde Grundwissen über die Landwirtschaft und zur Elektromobilität als technische Grundlagen dieser beiden Themen vermittelt.

Im dritten Teil der Arbeit wurden die Vorteile der Elektromobilität summarisch dargestellt. Die angefügten Punkte zeigten dabei die allgemeinen Vorteile der Elektromobilität und Elektromotoren auf, projizierten diese jedoch noch nicht explizit auf die Landwirtschaft.

Nachdem in den ersten Kapiteln Grundlagen aufgezeigt und mögliche Vorteile angesprochen wurden, begann in Kapitel vier der praktische Teil der Arbeit. In diesem Kapitel wurden Messungen dargestellt, die aufzeigen sollten, welche Grundeigenschaften landwirtschaftliche Arbeiten haben. Dabei wurde insbesondere auf den Kraftstoffbedarf eingegangen, den die Fahrzeuge bei typischen Arbeiten erreichen. Auch begleitende GPS-Messungen zur Darstellung des spezifischen Fahrverhaltens bei diesen Arbeiten wurden angefügt.

Das fünfte Kapitel widmete sich der Auswertung der zuvor gesammelten Daten. Um die Ergebnisse auswerten zu können, wurden zu Beginn dieses Kapitels die Energieträger der zu untersuchenden Bereiche gegenübergestellt und miteinander verglichen. Eine große Gewichtung wurde dabei dem Vergleich der Energiedichten von „Diesel“ und „Batterien“ zugeschrieben. Nachdem diese Gegenüberstellung abgeschlossen war, begann eine Analyse von in, Elektrofahrzeugen verbauten Akkumulatoren. Innerhalb dieser Analyse wurden die aus Kapitel vier bekannten Messergebnisse als Grundlage der kommenden Berechnungen hergeleitet. Die Analyse bestand darin, zu berechnen, welche Auswirkungen die Energiebedarfe der Fahrzeuge auf die Maße möglicher Akkumulatoren haben. Bei den

Berechnungen wurden neben den verschiedenen Eigenschaften der unterschiedlichen Energieträger auch die Eigenschaften der Motorentechnologie berücksichtigt. Abschließend wurde anhand der erzielten Ergebnisse eine Auswertung durchgeführt, die ein mögliches Einsatzgebiet dieser Technik definiert.

Im sechsten Abschnitt wurde eine Kostenanalyse angefügt. Diese vergleicht den Einsatz von konventionell betriebenen Dieselfahrzeugen mit dem möglichen Einsatz eines batterieelektrischen Fahrzeugs. Die Fahrzeugauswahl erfolgte durch die in Kapitel 5 gewonnenen Erkenntnisse. Um diese Analyse über den aktuellen Zeitpunkt hinaus zu ermöglichen, wurden mehrere Entwicklungsszenarien dargestellt.

Zum Schluss der Arbeit wurden Empfehlungen ausgesprochen bzw. optimale Rahmenbedingungen genannt, welche Gebiete aufzeigen, in denen eine Prüfung des möglichen Einsatzes von batterieelektrischen Fahrzeugen sinnvoll erscheint.

## 9 Fazit/ Ausblick

Dass die Landwirtschaft mit ihren Arbeitsmaschinen bei dem Thema der Elektromobilität scheinbar nicht im gleichen Maße miteinbezogen wird, wie die PKW- Industrie, hat derzeit noch seine Berechtigung. Bei der Prüfung des Einsatzes von reinen Elektrofahrzeugen ist deutlich geworden, dass die Nutzung von batterieelektrischen Fahrzeugen nur bis zu einer bestimmten Größe aus technischen Gesichtspunkten möglich ist, und die Technik der Brennstoffzelle noch nicht so weit fortgeschritten ist, um ein generelles Umdenken im Punkto „Fahrzeugantrieb“ zu bewirken.

Die Ansprüche in Hinsicht auf Leistung und Einsatzzeit von mobilen Arbeitsmaschinen machen die Idee des Einsatzes von BEVs als Standardvariante in der Landwirtschaft schnell zunichte. Die Leistungsdichte der heutigen Speichertechnik macht lediglich einen Einsatz als Hof- und Stalltraktoren sinnvoll. Geringer Leistungsbedarf und ein örtliche Einsatz zum Nachladen sind Grundvoraussetzungen für einen Einsatz dieser Technik. Auch die Anforderung an emissionsfreies Fahren ist eine Nische in der ein Einsatz sinnvoll sein kann. Die Anforderung an die Motorleistung des Traktors sollte zum heutigen Stand allerdings 20 – 30 kW nicht übersteigen. Große Traktoren von heute haben zum Teil eine Energieleistung von 400 – 500 kW integrierte Motorleistung. Um eine solche Leistung durch das Mitführen von Akkumulatoren zu erreichen, hätten alleine diese einen Platzbedarf der doppelt so groß wäre wie der Traktor selbst. Dennoch haben sich Nischen aufgetan, in denen der Gebrauch von BEVs Vorteile verspricht. Nachdem solche Nischen definiert wurden, muss jedoch zwingend ein Kosten- Nutzen- Vergleich durchgeführt werden, der die Wahl für ein batterieelektrisches Fahrzeug schwer werden lässt, sich jedoch durch weitere Preisentwicklungen und politische Entscheidungen auch zu Gunsten der Elektromobilität entwickeln kann.

Beim Blick auf die komplette Landwirtschaft und Elektromobilität ist eine Differenzierung zu der Elektromobilität im PKW- Sektor vorzunehmen. Ein PKW erfüllt in erster Linie den Zweck der Beförderung. Weiterführend hat er noch viele Komfort- und Fahrsicherheitseinrichtungen, auf die bei der Entwicklung des PKW in der Vergangenheit größter Wert gelegt wurde. Das elektrische Steuern dieser Einrichtungen ist in den meisten Fällen sehr gut möglich und hat einen nicht so hohen Energiebedarf. Den mit Abstand größten Energiebedarf nimmt hierbei die reine Fortbewegung des Fahrzeugs ein. Anders

sieht das (Ganze) im Fall der Landtechnik und bei den mobilen Arbeitsmaschinen aus. In diesen Bereichen ist die Weiterentwicklung auf einen erhöhten Nutzen im Einsatzgebiet des Fahrzeugs oder der Maschine ausgerichtet. Ein erhöhter Nutzen besteht darin, durch die Elektrifizierung einen höheren Wirkungsgrad und eine flexiblere Steuerung der Funktion zu erreichen. Allerdings ist zu sagen, dass nur an den Stellen elektrifiziert wird, an denen ein wesentlicher Vorteil entsteht. Für den Fall, dass ein mechanischer Antrieb im gleichen Maße und annähernd so gut wie ein elektrischer Antrieb funktioniert, wird zumeist der mechanische Antrieb durch seine geringen Kosten gewählt und auch weiterhin gewählt werden. Stellen, die ein mögliches Gebiet zur sinnvollen Elektrifizierung darstellen, sind zum einen die Fahrtriebe einer – bisher gezogenen – Maschine und zum zweiten vollem in den Prozessantrieben der Maschinen – an den Stellen, an denen die Maschinen ihren tatsächlichen Zweck erfüllt – gegeben.

Es wird also immer versucht einen Kompromiss der verschiedenen Antriebstechnologien zueinander zu finden. Diese Antriebe bestehen aus dem mechanischen, dem hydraulischen, und inzwischen auch aus dem elektrischen Antrieb. Dieser Kompromiss führt zu einer Hybridisierung der Fahrzeuge. Hybrid aus dem Grund, weil der elektrische Antrieb keines Falls der einzige Antrieb im Fahrzeug sein wird. Die Hydraulik und der mechanische Antrieb werden weiterhin im Fahrzeug verbaut bleiben. Es wird demnach weiterhin alle Formen der Antriebstechnologien geben, wodurch eine Hybridisierung stattfinden wird. Der elektrische Antrieb bei den Maschinen wird in Zukunft einen gewissen Teil der Antriebe ausmachen, allerdings wird er nicht 100 % der Antriebe einnehmen, sodass weitere Techniken parallel existieren werden.

Für gewisse Hybrid- Traktoren bietet sich noch ein interner Speicher von elektrischer Energie an. Wenn ein Traktor nur in den seltensten Fällen an seine Leistungsgrenze geht – zum Beispiel bei der Bodenbearbeitung o.Ä. – heißt das, dass es wirkliche Ausnahmen sind, in denen man die komplette Leistung des Fahrzeugs benötigt. Dann kann ein interner Energiespeicher von Vorteil sein. Dadurch, dass die Höchstleistung nur selten abgerufen werden muss, kann ein kleinerer Motor gewählt werden, der bei Bedarf durch die gespeicherte Energie des Speichers unterstützt wird. Insbesondere bei kleineren Schleppern in der Größenordnung bis 55 kW kann diese Methode zu einer Kostenreduzierung führen. Grund hierfür ist ein Sprung der Motorenkosten bei eben genau dieser Größe.

In den nächsten fünf Jahren ist durch die beschriebenen Probleme in der Umsetzung und vor allem durch die noch fehlende Wirtschaftlichkeit mit keinem großen Umbruch der Techniken zu rechnen. Um eine Elektrifizierung der Maschinen bzw. ihrer Prozesse und Funktionen zu ermöglichen, ist ebenso eine Elektrifizierung der Antriebsquellen zu vollziehen. Bevor die Traktoren elektrifizieren, werden vorerst Hilfsmodule eingesetzt, die mechanische Energie in elektrische Energie umformen, um gewisse Antriebe bei den Anbaumaschinen mit elektrischer Energie zu versorgen. Über diese Formen werden gewisse Nischen in denen sich eine Elektrifizierung lohnt, die Vorreiter für diese Technik sein. Nach einer Einführungszeit, den dadurch gewonnen Kenntnissen und die Weiterentwicklung der Technik, aber auch durch Erkenntnisse aus der Automobilbranche, kann mit einem elektrischen Anteil von 10 – 15 % der Maschinen bzw. der ausgeführten Arbeiten in der Landtechnik ausgegangen werden.

Die Brennstoffzelle ist hingegen die Technologie die auch einen Verbrennungsmotor ersetzen kann. Die Wandlung von mechanischer in elektrische Energie entfällt. Die CO<sub>2</sub>-Bilanz ist sehr gut und die Hybridisierung liefert über Zusatzspeicher die erforderliche Dynamik, um die Brennstoffzelle zu entlasten. Die Technik der Brennstoffzelle und die der Speicherung des Wasserstoffs benötigen jedoch noch einige Zeit, um als Standardvariante in landwirtschaftlichen Fahrzeugen – und anderen Fahrzeugen – verbaut werden zu können. Ein Durchbruch dieser Technik der einen Einsatz im Fahrzeug problemlos möglich macht, wäre gleichzeitig ein Meilenstein für die komplette Fahrzeugbranche.

Als Endergebnis ist festzuhalten, dass der Einsatz von reinen Elektrofahrzeugen in der Landwirtschaft derzeit noch keine wirklich alternative zu konventionellen Antrieben darstellt. Als Grund sind für den Fall von reinen Batteriefahrzeugen Probleme bei den technischen Rahmenbedingungen und fehlende Wirtschaftlichkeit zu nennen. Im Fall der Brennstoffzellentechnologie ist der noch weit entfernte Horizont, bezüglich eines möglichen Einsatzzeitpunktes in der Landwirtschaft als Grund zu darzulegen.

## Literaturverzeichnis

- [Dav 13] **David N.:** Nur wer die Vergangenheit kennt, hat eine Zukunft, o.J.  
<http://www.bem-ev.de/ich-bin-ein-historisches-auto/>, Stand: 17.10.13
- [Blu 71] **Blumenthal, R.:** Technisches Handbuch Traktoren, 4. Aufl., Berlin, 1971
- [bmw 09] o.V.: Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung , 2009  
[http://www.bmbf.de/pubRD/nationaler\\_entwicklungsplan\\_elektromobilitaet.pdf](http://www.bmbf.de/pubRD/nationaler_entwicklungsplan_elektromobilitaet.pdf), Stand: 17.10.13
- [emo 13] o.V.: Der Elektromotor, o.J., Stand: 17.10.13  
<http://www.emobilitaetonline.de/das-elektroauto/kapitel-3-der-elektromotor>
- [Hey 63] **Heyde H. u.a.:** Landmaschinenlehre, Band 1, Berlin, 1963
- [Kam 13] **Kampker A.; Vallée D.; Schnettler A.:** Elektromobilität Grundlagen einer Zukunftstechnologie, Berlin, 2013
- [Klo 09] **Klohn W., Voth A.:** Die Landwirtschaft in Deutschland, Heft 3, 5. Neubearbeitete Auflage, Vechta, 2009
- [Lin 12] **Link J.:** Elektromobilität und erneuerbare Energien: Lokal optimierter Einsatz von netzgekoppelten Fahrzeugen, Aachen, 2012
- [men 13] o.V.: Die Ladestation, o.J.,  
[http://www.mennekes.de/presse.html?no\\_cache=1](http://www.mennekes.de/presse.html?no_cache=1), Stand: 17.10.13
- [Sch 11] **Schulter B.:** Elektromobilität und Elektrofahrzeuge: Ökonomische Bewertung des Marktpotentials im Jahr 2020, Hamburg, 2011
- [Pfa 10] **Pfaffen, P.-J.:** Entwicklung der Traktoren in Deutschland, VDI-MEG; VDI-MEG - Tagung Land. Technik für Profis 2010, Düsseldorf, 2010
- [vku 13] o.V.: Kleine Geschichte der Elektromobilität, o.J.,  
<http://www.vku.de/zukunftsthemen/elektromobilitaet/kleine-historie.html>, Stand: 17.10.13

## **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Salzgitter, 18.10.2013

---

Henrik Rautmann